

Ф. И. Барсуков

РАДИОТЕЛЕМЕХАНИКА

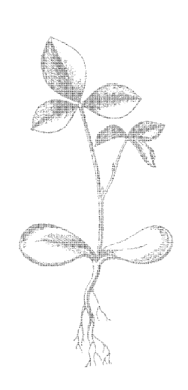
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 433

Ф. И. БАРСУКОВ

РАДИОТЕЛЕМЕХАНИКА





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1962 ЛЕНИНГРАД

В книге излагаются принципы построения радиотелемеханических систем. Основное внимание уделяется системам командного телеуправления различными объектами и процессами. Рассматриваются принципы построения многоканальных радиолиний, являющихся важнейшими звеньями радиотелемеханических систем командного телеуправления. Описываются командные радиолинии и телеметрические системы.

Книга рассчитана на подготовленных радиолюбителей и лиц, интересующихся вопросами радиотелемеханики.

СП2.15+6Ф.3. *Барсуков Филипп Иванович*

Б26 **Радиотелемеханика.** М.—Л., Госэнергоиздат, 1962. 88 с. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 433).

СП2.15+6Ф.3

Редактор *М. В. Максимов* Техн. редактор *М. М. Широкова*

Обложка художника *А. М. Кувшинникова*

Сдано в набор 7/IX 1961 г. Подписано к печати 12/I 1962 г.
Т-00115 Бумага 84×108 1/32 4,51 п. л. Уч.-изд. л. 6
Тираж 50 000 экз. Цена 24 коп. Заказ 553

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

За последние десятилетия чрезвычайно бурно развилась и достигла высокой степени совершенства одна из важнейших отраслей радиоэлектроники — радиотелемеханика, занимающаяся вопросами контроля и управления на расстоянии различными процессами и объектами с помощью радиосредств.

Среди всех известных средств радиотелемеханики в современных условиях наибольшее распространение получили радиотехнические системы управления и радиотелеметрические системы. Радиотехнические системы управления представляют собой совокупность приборов и устройств, обеспечивающих управление различными объектами и процессами на расстоянии с помощью радиосредств. Радиотелеметрические системы предназначаются для передачи на расстояние результатов измерений.

Современные радиотелемеханические системы все более широко внедряются в нашу жизнь. В народном хозяйстве радиотелемеханические системы применяются при автоматизации производственных процессов в целях повышения производительности и улучшения условий труда. Проведение успешных исследований в космическом пространстве с помощью ракет и искусственных спутников Земли стало возможным благодаря широкому использованию для этих целей радиотелемеханических средств, обеспечивающих управление космическими объектами на определенных наиболее важных этапах их полета и передачу научных данных на Землю.

Развитие радиотелемеханических систем идет по пути разработки и совершенствования как принципов построения систем управления в целом, так и отдельных их узлов. Широкое использование новых электронных приборов, радиодеталей и материалов позволяет существенно улучшить эксплуатационные характеристики проектируемых устройств и расширить возможности их использования. Возросшая роль радиотелемеханических средств во всех сферах деятельности человека вызывает интерес к ним со стороны не только специалистов в области радиотелемеханики, но также и широкого круга лиц, желающих познакомиться с принципами построения, особенностями и возможностями использования этих средств.

Данная книга посвящена изложению принципов построения радиотелемеханических систем и их основных элементов. При этом главное внимание уделяется рассмотрению систем командного телеуправления различными объектами и процессами.

Ф. Барсуков

Глава первая

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ РАДИОТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИНЦИПАХ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ

Процесс управления некоторым объектом по существу сводится к устранению появляющегося с течением времени рассогласования (отклонения) между заданным и действительным состояниями (режимами) этого объекта. Рассогласование в процессе управления может возникнуть в результате влияния различных мешающих факторов (возмущений).

При неавтоматическом управлении оператор или рабочий, установив предварительно необходимое состояние (режим), непосредственно или по приборам наблюдает за управляемым объектом. При наличии отклонения, а также в том случае, когда требуется изменить режим, оператор осуществляет соответствующее воздействие на объект управления и восстанавливает заданное течение процесса. Так, например, летчик, изменяя положение руля направления и элеронов, может поддерживать курс самолета постоянным независимо от действия атмосферных возмущений или изменять направление полета нужным образом. Наличие соответствующих приборов на самолете дает возможность правильно водить самолеты в любых метеорологических условиях.

На практике очень часто ставится задача стабилизации тех или иных параметров процесса или режима работы управляемого объекта (поддерживание постоянства давления пара в котле, скорости вращения различных двигателей, выходного напряжения генератора электрической станции и т. п.). Вместе с этим можно назвать большое количество случаев, когда требуется управлять процессами и режимами, течение которых должно изменяться во времени. Так как при управлении необходимо сводить к нулю появляющиеся рассогласования, то, очевидно, нужно уметь определять действительное состояние объекта и знать заданный режим его работы для каждого момента времени. В неавтоматических системах эти операции выполняет человек, который с помощью измерительного устройства наблюдает за объектом (процессом) и данные наблюдений сравнивает с имеющейся у него программой работы объекта. Типовая функциональная схема неавтоматической системы управления представлена на рис. 1,*а*.

Если функции оператора передать автоматическим измерителям и счетно-решающим устройствам, то можно создать автомати-

ческую систему управления (рис. 1,*б*). В ее состав входят: 1) измерительное устройство, обеспечивающее контроль за состоянием управляемого объекта; 2) счетно-решающее (вычислительное) устройство, вырабатывающее сигналы рассогласования на основании сопоставления действительного и необходимого состояний управляемого объекта; 3) исполнительное устройство (механизм), преобразующее выходные сигналы счетно-решающего устройства в непосредственное воздействие на управляемый объект. Работа системы автоматического управления может корректироваться вводом

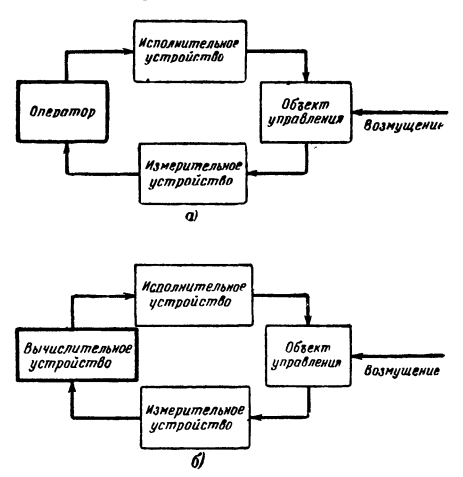


Рис. 1. Функциональная схема системы управления.

в вычислительное устройство сигналов коррекции в случае, когда нужно изменить требуемый режим управляемого объекта.

Как видно из рис. 1, системы управления являются замкнутыми. В неавтоматических системах замыкание осуществляется посредством оператора, а в автоматических — с помощью вычислительного устройства.

Управляемый объект может находиться как рядом, так и далеко от места, где вырабатываются управляющие сигналы. Если управляемый объект не находится в непосредственной близости, то вырабатываемые сигналы управления часто приходится передавать после значительных предварительных преобразований по радио или по проводам. Эти преобразования обусловливаются, как правило, характеристиками используемых каналов связи.

Однако, независимо от того, где находится объект, сущность процесса управления им не изменяется. Она всегда заключается в задании необходимого состояния и устранении рассогласования, которое появляется с течением времени между заданным и действительным состояниями управляемого объекта.

Совокупность приборов и устройств, обеспечивающих управление объектом или процессом на расстоянии, образует систему те-

леуправления. Системы телеуправления, в состав которых входят радиосредства, называются радиотехническими системами или системами радиотелеуправления.

Одними из важнейших частей любой системы телеуправления являются система контроля за состоянием управляемого объекта и система формирования и передачи корректирующих сигналов (команд).

Системы телеуправления подразделяются на неавтоматические и автоматические.

На рис. 2,*а* представлена схема простейшей неавтоматической системы телеуправления. С помощью системы контроля осущест-

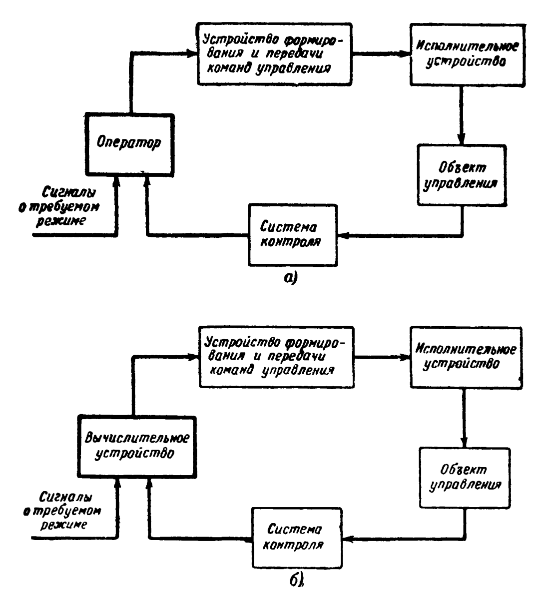


Рис. 2. Функциональная схема системы телеуправления.

вляются формирование и передача на пункт управления сигналов, характеризующих текущее состояние управляемого объекта. На пункте управления эти сигналы индицируются с помощью стрелочных или других приборов (табло) так, чтобы оператор, осуществляющий управление, мог быстро и безошибочно их воспринимать. Требуемый режим объекта в процессе управления оператору должен быть известен или же может задаваться с помощью специальных программных устройств, дополнительных систем контроля и т. п. В процессе телеуправления оператор сравнивает текущее состояние объекта, определяемое по показаниям приборов системы контроля, с требуемым. При наличии рассогласования вырабатывается корректирующая команда, которая подается на управляемый объект. Принятые на объекте команды реализуются в соответствующие воз-

действия на органы управления, восстанавливающие необходимое течение управляемого процесса.

В настоящее время все более широкое распространение получают автоматические системы телеуправления. В автоматической системе, функциональная схема которой представлена на рис. 2,*б*, сравнение параметров текущего и заданного режимов управляемого объекта осуществляется вычислительным устройством. В системах, обеспечивающих управление положением некоторого объекта в пространстве или на плоскости (ракета, самолет, корабль на море и т. п.), вычислительное устройство часто называют координатором. На вход вычислительного устройства поступают сигналы, характеризующие текущий и заданный режимы управляемого объекта. Сигналы о текущем режиме формируются и передаются в вычислительное устройство системой контроля. В качестве источников сигналов, характеризующих требуемый (заданный) режим объекта, могут использоваться, так же как и в неавтоматических системах телеуправления, программные устройства, дополнительные системы контроля и т. п. Выходной сигнал вычислительного устройства характеризует собой измеренное значение рассогласования между действительным и заданным режимом управляемого объекта. Этот сигнал поступает в устройство формирования и передачи команд управления, где преобразуется в команду, посылаемую на управляемый объект. С помощью исполнительных устройств принятые команды после соответствующих преобразований воздействуют на органы управления объекта.

2. РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Если расстояние между пунктом управления и управляемым объектом велико, то применение проводных каналов связи часто становится нерациональным. В этих случаях передача информации из одного места в другое производится с помощью радиосредств. Радиотехнические системы становятся наиболее целесообразными и для управления движением самолетов, ракет, кораблей и т. п.

Радиотехнические системы управления, как правило, сложнее проводных. Особенно сложными и громоздкими они становятся при необходимости одновременной передачи по радио корректирующих команд и сигналов контроля, а также при применении радиотехнических методов задания режима работы управляемого объекта. Другая специфическая особенность радиотехнических систем управления заключается в их подверженности действию радиопомех.

В настоящее время различают следующие виды радиотехнических систем управления: системы командного управления; системы управления по радиолучу; системы самонаведения; автономные системы; комбинированные системы.

Системы командного управления характеризуются тем, что команды управления формируются на пункте управления на основе измеренного рассогласования между фактическим и требуемым состоянием управляемого объекта. Сформированные сигналы команд передаются на объект управления по командной радиолинии управления (КРУ).

Передающая установка КРУ (рис. 3) через оператора или счетно-решающее устройство связана с выходом системы контроля,

которая вырабатывает сигналы, характеризующие заданное состояние управляемого объекта. Она располагается на пункте управления. Приемная установка КРУ размещается на объекте.

Определение сигнала рассогласования в неавтоматических системах командного управления производит оператор. Последний воздействует на датчик команд (командный прибор), который в таких системах является входным устройством КРУ. Действия оператора обычно вызывают угловые перемещения ручки управления датчика команд в соответствии с величиной сигнала рассогласования. С выхода датчика команд снимается электрический сигнал,

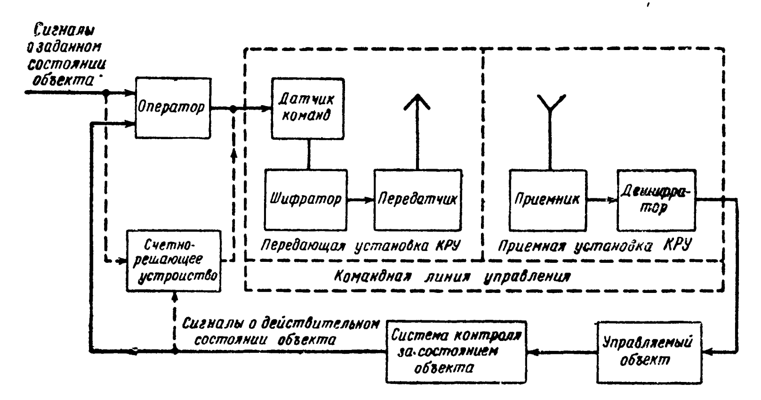


Рис. 3. Функциональная схема радиотехнической системы управления.

один из параметров которого изменяется в соответствии с отклонением ручки прибора.

В автоматических системах оператора заменяет, как уже указывалось, счетно-решающее устройство, которое также вырабатывает команду в соответствии с сигналом рассогласования.

Сигналы, полученные на выходе датчика команд и представляющие собой посылаемые на телеуправляемый объект команды, поступают в шифратор, где осуществляются их кодирование и суммирование с сигналами команд, передаваемых по другим каналам. Сущность кодирования состоит в том, что посылаемым сигналам придаются различные качественные признаки, по которым они могут быть разделены по соответствующим каналам на телеуправляемом объекте (приемной стороне). Электрические сигналы с выхода шифратора подаются в передатчик, где за счет их производится модуляция высокочастотных колебаний.

Радиосигналы передатчика пункта управления принимаются приемником, установленным на телеуправляемом объекте. Принятые колебания усиливаются и детектируются. В результате на выходе приемника получаются сигналы, аналогичные тем, которые поступали с шифратора на передатчик. Выделенный таким образом суммарный сигнал всех команд, посланных с пункта управления, подается в дешифратор, где производится разделение их по соответствующим каналам. Разделение происходит на основании тех

качественных признаков, которые были приданы различным командам в шифраторе. С дешифратора сигналы команд поступают на исполнительные устройства, которые приводят в действие органы управления объекта.

Системы командного телеуправления находят широкое распространение как при наведении самолетов и ракет, так и в промышленности.

Системы управления по радиолучу представляют собой разновидность систем командного телеуправления. Сущность управления по радиолучу сводится к следующему. С помощью радиоаппаратуры (радиолокатор), устанавливаемой на пункте управления, в нужном направлении создается радиолуч (рис. 4). Ось радиолуча, называемая равносигнальной линией, образуется в результате вращения диаграммы направленности. Она характеризует линию равных интенсивностей радиосигналов. Управляемый объект O, на котором установлен приемник с направленной в сторону облучающего радиолокатора антенной, вводится в радиолуч. Если объект, перемещаясь в пространстве, находится на оси луча (в равносигнальной зоне), то приемное устройство объекта принимает сигналы радиолокатора в течение периода вращения антенны с одинаковой амплитудой. Отклонение объекта от равносигнальной линии приводит к появлению амплитудной модуляции принимаемых сигналов (высокочастотных импульсов) с частотой вращения антенны. Глубина модуляции при этом пропорциональна величине отклонения объекта от оси вращения луча, а фаза огибающей импульсов определяет направление отклонения объекта. Из принятых приемником сигналов после детектирования и соответствующих преобразований выделяется напряжение сигнала рассогласования. Для того чтобы получить управляющие напряжения, необходимо сигнал рассогласования сравнить с опорными напряжениями, характеризующими закон вращения диаграммы направленности.

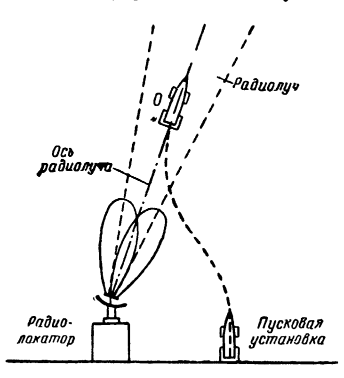


Рис. 4. Схема управления объектом в пространстве с помощью радиолуча.

Опорные напряжения на управляемый объект подаются с пункта управления посылкой специальных кодированных сигналов, например, за счет частотной модуляции облучающих сигналов. С изменением направления луча изменяется направление движения управляемого объекта.

Метод управления по радиолучу широко применяется для поражения воздушных целей с помощью управляемых ракет. В этом случае для создания луча в направлении цели используется радиолокатор с автоматическим сопровождением цели. Если в радиолуч ввести ракету с бортовым приемником, принимающим сигналы радиолокатора, то она будет наводиться на сопровождаемую цель.

В системе управления по радиолучу точность наведения по мере удаления объекта от радиолокатора ухудшается примерно пропорционально удалению объекта от пункта управления. Это

объясняется расширением направляющего луча. С целью уменьшения ошибки наведения стремятся сделать направляющий луч более узким.

В системах самонаведения, применяемых для управления ракетами, формирование сигналов управления основано на использовании энергии, приходящей на управляемый объект от поражаемой цели. Это может быть энергия электромагнитных колебаний, теплового излучения (инфракрасные лучи), световая энергия и т. п.

На управляемой ракете устанавливается аппаратура, воспринимающая приходящую энергию и вырабатывающая сигналы, под действием которых ракета направляется на источник излучения.

Наибольшее распространение получили полуактивные радиотехнические системы самонаведения, в которых для формирования управляющих сигналов используется энергия электромагнитных колебаний, отраженных от цели при ее облучении посторонним источником таких колебаний.

Автономные системы управления обеспечивают управление объектом по заранее заданной программе с помощью аппаратуры, размещаемой на самом объекте. Для формирования команд управления в этих системах не используются сигналы, которые могут поступать с пункта управления или от поражаемой цели.

Радиотехнические автономные системы используются в основном для управления положением летательных аппаратов в пространстве.

Необходимая для управления энергия электромагнитных колебаний поступает в результате отражения радиоволн от земной или водной поверхности. Возможно также использование энергии излучения солнца и других небесных тел.

Все параметры, характеризующие текущее положение объекта в пространстве, воспринимаются радиотехническими автономными системами контроля, выходные сигналы которых после необходимых преобразований подаются в устройство, где осуществляется сравнение текущих значений параметров с заданными. При наличии рассогласования между ними вырабатывается соответствующий управляющий сигнал, под действием которого происходят отклонение рулей и возвращение управляемого объекта на заданную траекторию движения.

В качестве автономных радиотехнических систем контроля могут использоваться допплеровские системы и радиоастронавигационные устройства.

Комбинированные системы управления представляют собой сочетание рассмотренных выше четырех типов систем управления. При комбинированном управлении в одно и то же время или в разные отрезки времени управление объектом осуществляется различными способами.

Такие системы широко применяются для управления различными ракетами. На начальном участке траектории полета ракет для управления используется система командного управления или система управления по радиолучу, а на конечном — система самонаведения.

Комбинированная система может представлять собой сочетание инерциальной и радиотехнической системы командного управления.

При этом оказывается, что чем совершеннее будет инерциальная система, тем меньше функций возлагается на систему радиотелеуправления, и наоборот.

3. РАДИОТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

В современных условиях радиотелеметрические системы весьма широко и плодотворно используются для научных исследований нижних и верхних слоев атмосферы, а также космического пространства с помощью шаров-зондов, ракет и искусственных спутников Земли. Не менее важное значение техника радиотелеметрии имеет в области испытаний новых образцов самолетов и ракет и для передачи координат различных подвижных объектов.

Радиотелеметрическая система состоит из передающей и приемной установок (рис. 5). Передающая установка включает датчики, шифратор и радиопередатчик, а приемная — радиоприемник, дешифратор, регистрирующее устройство и блок времени.

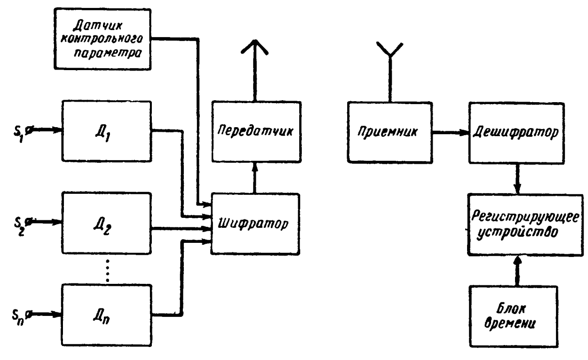


Рис. 5. Функциональная схема радиотелеметрической системы.

Датчики $Д_1$—$Д_n$ представляют собой устройства, воспринимающие измеряемые величины и преобразующие их в электрические сигналы. Один из параметров (величина напряжения, частота и т. п.) выходного сигнала датчика функционально связан с измеряемой величиной.

Помимо сведений об измеряемых величинах, на приемную установку, размещаемую на Земле, передается информация о так называемом контрольном параметре. Последний имеет заранее известные значения и используется для расшифровки результатов радиотелеизмерений.

Количество датчиков, применяемых в радиотелеметрической системе, определяется числом величин, данные о которых необходимо передавать.

Сигналы с датчиков поступают в шифратор, выполняющий по существу те же функции, что и шифратор КРУ. Колебаниями, получаемыми на выходе шифратора, производится управление работой радиопередатчика.

В радиоприемнике принятые сигналы усиливаются и детектируются. Полученное таким образом напряжение подается в дешифратор, основной задачей которого является разделение сигналов, характеризующих различные измеряемые величины, по отдельным цепям и преобразование этих сигналов к виду, удобному для подачи на регистрирующее устройство.

С помощью регистрирующего устройства осуществляется запись результатов радиотелеизмерений. Наиболее часто для записи используются осциллографы с фотоприспособлениями и системы магнитной записи. Помимо этого, регистрирующее устройство обычно содержит приборы, позволяющие визуально наблюдать за характером изменения измеряемых (телеметрируемых) величин в процессе проведения радиотелеизмерений.

Записанные тем или иным образом результаты измерений после окончания работы радиотелеметрической системы дешифрируются. Сущность дешифровки состоит в том, что на основе анализа записанных сигналов измеряемых величин и контрольного параметра определяются значения каждой измеряемой величины в отдельные моменты времени. После этого результаты радиотелеизмерений оформляются в виде таблиц или графиков.

Для того чтобы имелась возможность получения зависимостей измеряемых величин от времени, используется блок времени. Сигналы этого блока поступают на записывающее устройство с момента начала радиотелеизмерений.

Глава вторая

СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗА СОСТОЯНИЕМ ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

4. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ

Состояние того или иного телеуправляемого объекта может характеризоваться самыми различными параметрами. В задачу системы контроля входят измерение этих параметров на объекте и передача их значений на пункт управления. Различают два вида контролируемых параметров при управлении объектами на расстоянии: внешние параметры движения и параметры процессов, происходящих на самом объекте.

Внешние параметры измеряются при управлении положением объекта в пространстве или на плоскости. Такими параметрами являются координаты объекта, направление и величина скорости и ускорения его движения.

Параметры процессов, происходящих на самом объекте (в том числе и неподвижном), измеряются при управлении состоянием отдельных его агрегатов и устройств. Этими параметрами могут быть все известные физические величины (температура, давление, геометрические размеры и т. п.).

Известны следующие системы контроля: визуальные; телевизионные; радиолокационные; радионавигационные; радиотелеметрические. Применение той или иной системы контроля зависит в первую очередь от решаемых задач и характера измеряемых параметров.

5. ВИЗУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ

В наиболее простых радиотелемеханических системах наблюдение за телеуправляемым объектом осуществляется визуально. Если в результате такого наблюдения будет установлено, что истинное положение (состояние) объекта отличается от необходимого, то по командной радиолинии подается корректирующий сигнал на устранение появившегося отклонения. Визуальные системы контроля являются простейшими.

Для увеличения дальности видимости управляемого объекта на пункте управления могут использоваться оптические приборы, а на самом объекте устанавливаться световые сигнальные огни.

Простота визуальной системы контроля является ее важнейшим преимуществом. Однако этой системе присущ ряд серьезных недостатков. Ее можно применять только в светлое время суток при хорошей видимости. Дальность наблюдения ограничена. При этом с увеличением дальности ухудшается точность определения положения управляемого объекта по отношению к требуемому. Кроме того, визуальная система контроля может быть использована только для определения внешних параметров движения управляемого объекта, т. е. для определения его координат, направления движения, величины скорости и т. п., и не может быть использована для управления агрегатами на управляемом объекте.

Системы визуального контроля широко применяются при управлении различными радиоуправляемыми моделями самолетов, кораблей и т. п.

6. ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ

В последнее время начали находить применение телевизионные системы контроля. Передающая часть телевизионной системы устанавливается на телеуправляемом объекте, а приемная — на пункте управления (наблюдения). По изображению на экране приемной установки можно судить о состоянии управляемого процесса или положении управляемого объекта.

В отличие от визуальной системы контроля телевизионная система позволяет контролировать как внешние параметры движения телеуправляемого объекта, так и состояние различных агрегатов и процессов внутри этого объекта. Такая задача решается следующим образом.

Внешние параметры движения телеуправляемого объекта и параметры различных процессов внутри его, которые необходимо контролировать, индицируются с помощью соответствующих индикаторных приборов, расположенных на приборной доске. Изображение приборной доски с имеющимися на ней приборами передается по телевизионному каналу на пункт управления, где может просматриваться на экране приемной трубки или фотографироваться на кинопленку. Такую систему контроля часто называют телевизионно-телеметрической.

Телевизионные системы используются на производстве для контроля технологических процессов, наблюдение за которыми связано с определенными неудобствами или же с опасностью для здоровья и жизни людей, в диспетчерской службе на железной дороге и во многих других отраслях народного хозяйства.

За последние годы телевизионная техника, как и все другие отрасли электроники, в Советском Союзе получила весьма широкое развитие. Новейшие достижения в области телевидения позволили ученым нашей страны успешно осуществить с космической ракеты фотографирование и передачу на землю невидимой стороны Луны. Это был выдающийся эксперимент, результаты которого показали возможность широкого использования телевидения в освоении космоса.

На втором космическом корабле, запущенном Советским Союзом в качестве искусственного спутника, находились подопытные животные, изображение которых с помощью специальной телевизи-

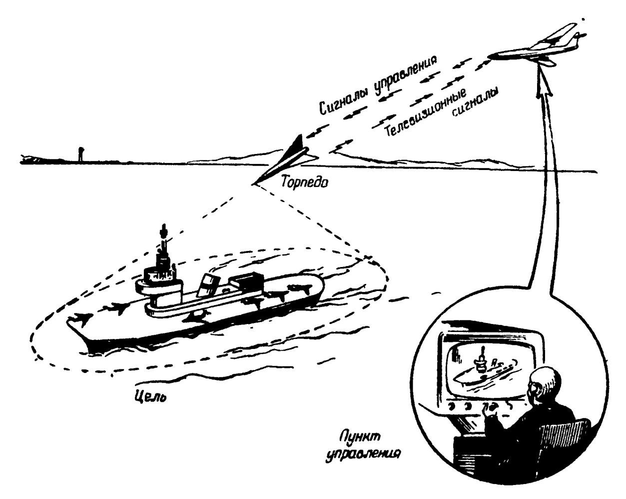


Рис. 6. Телеуправление авиационной торпедой с использованием телевизионной системы контроля.

онной системы передавалось на Землю. Наблюдая за поведением животных на экране наземного приемного устройства, ученые получили возможность непосредственно изучать влияние условий полета корабля и окружающих космических условий на состояние живых организмов. Этот эксперимент явился важнейшим этапом подготовки к полету в космос человека.

В качестве средства контроля телевидение используется и в военной технике для наведения на цель радиотелеуправляемых снарядов различных типов. Еще во время второй мировой войны американцы применили против кораблей Японского флота и береговых сооружений управляемые авиационные торпеды «Гломб-4» с телевизионной системой контроля за их полетом (рис. 6).

Особенностью систем наведения радиотелеуправляемых ракет на цель с использованием телевизионных систем контроля является то, что они позволяют резко увеличить точность наведения, поскольку с приближением ракеты с телевизионной передающей установкой к цели видимость последней улучшается.

Достоинства телевизионных систем контроля заключаются в наглядности изображения и увеличения разрешающей способности с уменьшением дальности между торпедой и целью. К недостаткам этих систем относятся значительная сложность оборудования, зависимость эффективности контроля от метеоусловий, возможность контроля только в светлое время суток. Некоторые из указанных недостатков не относятся к телевизионным телеметрическим системам с искусственным освещением передаваемого изображения.

7. РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ

Радиолокационные системы весьма успешно используются для определения координат и других внешних параметров движения объектов. Особенно широкое применение они находят в радиотелемеханических системах управления различными летательными аппаратами (телеуправляемыми самолетами, ракетами всех видов, спутниками Земли).

Как известно, принцип действия радиолокатора основан на том, что импульс электромагнитной энергии (зондирующий импульс) излучается антенной локатора в направлении объекта, за которым осуществляется наблюдение. Электромагнитные колебания, достигнув объекта, отражаются от него и принимаются приемником радиолокатора. Так как скорость распространения электромагнитной энергии в пространстве постоянна (300 000 *км/сек*), то по измеренному времени Δt (в секундах) между моментами излучения зондирующего импульса и принятия отраженного сигнала может быть определено расстояние D (в километрах) до объекта из следующего выражения:

$$D = 1{,}5 \cdot 10^5 \Delta t.$$

Угловые координаты объекта определяются по положению антенной системы радиолокатора в момент принятия отраженных сигналов.

Радиолокационные станции позволяют осуществлять слежение за объектом на значительных расстояниях независимо от метеорологических условий, времени года и суток.

В системах радиотелеуправления наиболее часто применяются так называемые следящие радиолокаторы, в состав которых входят автоматическое устройство измерения дальности, пеленгационное устройство, определяющее отклонение объекта от оси пеленгатора (оси антенной системы) и автоматическое устройство поворота антенной системы при отклонении объекта от оси пеленгатора.

Пеленгатор вместе с автоматическим устройством поворота антенны образует автоматическую систему сопровождения объекта по направлению, называемую координатором. С выхода координатора снимаются угловые координаты объекта в виде величин тока или напряжения. Принцип действия следящего радиолокатора иллюстрируется на рис. 7.

С помощью следящей системы за счет поворота антенны устраняется угловое рассогласование между направлением на управляемый объект и направлением оси антенной системы (пеленгатора).

Управление приводом вращения антенны производится сигна-

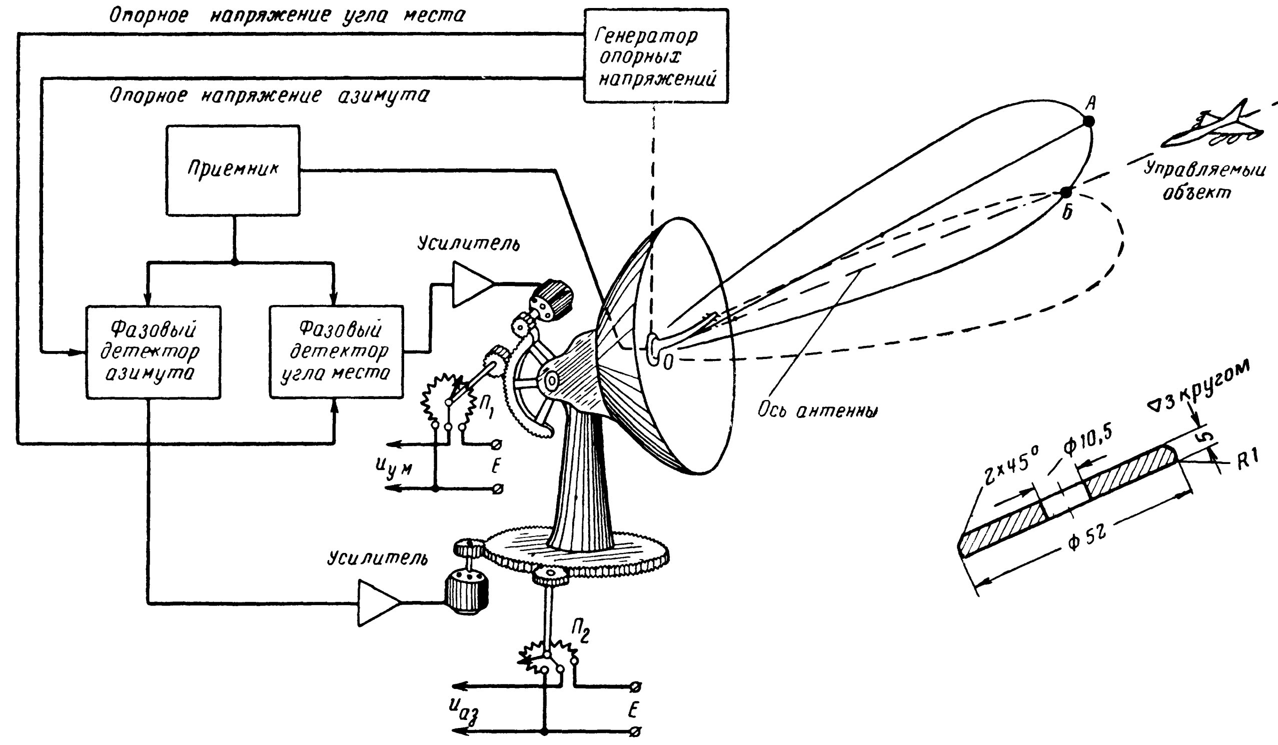


Рис. 7. Схема следящего радиолокатора.

лом, который получается на выходе пеленгационного устройства при наличии углового рассогласования.

В радиолокаторе используется приемнопередающая антенна с очень узким (иглообразным) лучом. Антенна имеет облучатель и рефлектор (отражатель). Импульсная электромагнитная энергия от генератора высокочастотных колебаний радиолокационной станции, не показанного на рис. 7, подается к облучателю, с помощью которого осуществляется облучение рефлектора. За счет последнего эта энергия излучается в пространство в виде узкого пучка (луча).

В период между излучениями импульсов антенна радиолокационной станции принимает отраженную от объектов электромагнитную энергию также в виде импульсов. Приходящие колебания улавливаются рефлектором и отражаются к вибратору (облучателю), который в это время соединяется со входом приемника радиолокатора.

Вибратор смещен относительно оси рефлектора, за счет чего направление максимума (прямая *ОА* на рис. 7) диаграммы направленности получается под некоторым углом к оси антенны. При вращении вибратора или рефлектора прямая *ОА* описывает коническую поверхность. Ось конуса *ОБ* (рис. 7) совпадает с осью вращения рефлектора.

Антенна радиолокатора излучает радиоимпульсы постоянной амплитуды. Если объект, за которым осуществляется слежение, находится на оси *ОБ*, то отраженные от него импульсы будут иметь также одинаковую амплитуду (рис. 8,*а*).

При смещении объекта в сторону от равносигнальной линии отраженные импульсы будут модулированы по амплитуде сигналом с частотой вращения антенны (рис. 8,*б* и *в*). Глубина модуляции при этом пропорциональна величине отклонения объекта Δ от равносигнальной линии, а фаза модулирующего напряжения будет зависеть от стороны отклонения объекта.

Огибающая импульсов, характеризующая величину и направление отклонения объекта от прямой *ОБ*, выделяется детектором сигнала ошибки. На выходе этого детектора образуется синусоидальное напряжение, которое называется сигналом рассогласования.

Для управления антенной в двух плоскостях (горизонтальной по азимуту и вертикальной по углу места) при слежении за объектом необходимо из сигнала рассогласования получить два соответствующих управляющих напряжения. Для этого полученный сигнал ошибки сравнивается с двумя опорными синусоидальными напряжениями в двух фазовых детекторах: в фазовом детекторе канала азимута с опорным напряжением азимута и в фазовом детекторе канала угла места с опорным напряжением угла места.

Опорные напряжения азимута $u_{\text{оп аз}}$ и угла места $u_{\text{оп у.м}}$ (рис. 8,*г* и *д*), сдвинутые друг относительно друга по фазе на угол $\pi/2$, определяют начала отсчета фазы в каждом из указанных каналов. Вырабатываются опорные напряжения специальным механическим генератором, ротор которого приводится в движение двигателем, вращающим вибратор (рефлектор) антенны. Таким образом, указанные опорные напряжения по частоте совпадают с частотой вращения диаграммы направленности.

На выходе фазовых детекторов выделяются управляющие напряжения, определяемые отклонением объекта от равносигнальной

линии соответственно в плоскости азимута и в плоскости угла места. Эти напряжения усиливаются и подаются затем на отрабатывающие двигатели, которые устанавливают антенну так, чтобы равносигнальная линия пеленгатора совпадала с направлением на объект. Напряжения, характеризующие угловые координаты объекта, снимаются с потенциометров $П_1$ и $П_2$ (рис. 7), положение подвижных контактов которых определяется соответственно поворотом антенны в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

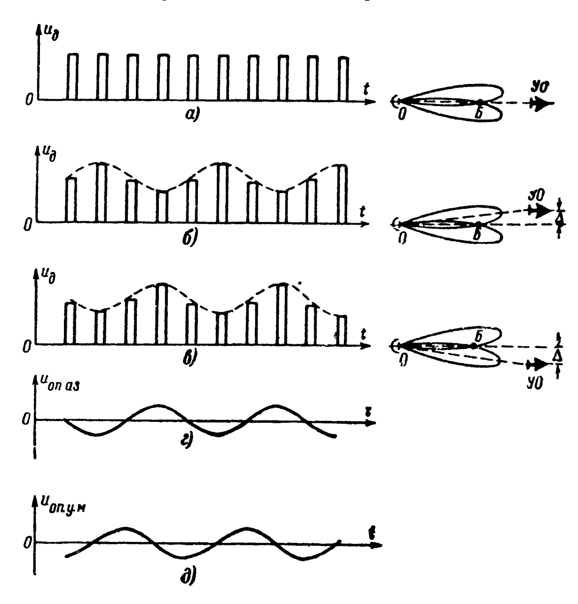


Рис. 8. Временные диаграммы, характеризующие работу следящего радиолокатора.

Следящие радиолокационные устройства используются и как самостоятельные системы для определения координат вражеских воздушных целей.

Дальность действия радиолокаторов определяется геометрической видимостью объекта, за которым осуществляется слежение. В пределах геометрической видимости объекта дальность определяется мощностью передатчика радиолокатора, направленностью антенны и чувствительностью приемника. Чем больше указанные величины, тем значительнее дальность, на которой может быть обеспечено успешное слежение за объектом. Для увеличения дальности действия радиолокационной системы контроля на управляемый объект может устанавливаться ответчик — устройство, ретранслирующее принятые запросные сигналы радиолокатора.

Недостатком описанной радиолокационной системы контроля является то, что слежение сравнительно просто может осуществляться только за одним объектом.

8. РАДИОНАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ

Радионавигация — область науки и техники, занимающаяся вопросами определения местоположения и параметров движения объектов (судов, ракет различных видов, самолетов и др.) с помощью радиосредств. Различают три вида радионавигационных устройств: угломерные, разностнодальномерные (гиперболические) и дальномерные (круговые). Помимо того, известны радионавигационные системы, основанные на использовании эффекта Допплера.

Угломерные устройства. Одним из важнейших элементов ряда радионавигационных угломерных устройств (пеленгаторов) является рамочная антенна, свойства которой позволяют использовать ее

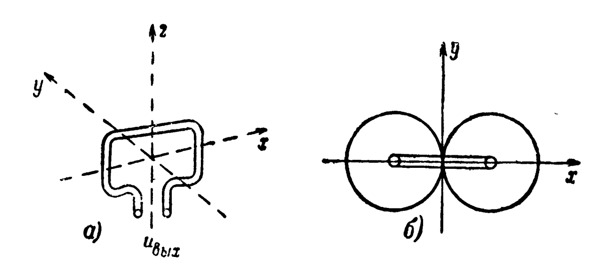


Рис. 9. Рамочная антенна.

для определения направления прихода электромагнитных колебаний от работающей радиостанции.

На рис. 9 схематично изображена рамочная антенна (рис. 9,*а*) вместе с ее характеристикой направленности (рис. 9,*б*), имеющей вид восьмерки. Из рассмотрения этого рисунка следует, что выходной сигнал рамочной антенны равен нулю, когда направление распространения радиоволн перпендикулярно ее плоскости. Максимальный выходной сигнал получается в тех случаях, когда плоскость рамки совпадает с направлением распространения электромагнитных волн. Таким образом, поворачивая рамочную антенну, можно определить направление на работающую радиостанцию по максимуму или минимуму принимаемого сигнала. Пеленгация, производимая по минимуму принимаемого сигнала, дает более точные результаты.

Для устранения двузначности при определении направления с помощью рамочной антенны в пеленгаторе используется дополнительная штыревая антенна, имеющая в горизонтальной плоскости круговую диаграмму направленности. Сочетание рамочной и штыревой антенн позволяет получить результирующую диаграмму направленности в виде кордиоды, имеющей один максимум и один минимум.

Для определения координат объекта в горизонтальной плоскости, на котором установлен работающий радиопередатчик, необходимо иметь два пеленгаторных устройства, отстоящих друг относительно друга на некотором расстоянии, называемом базой. Даль-

ность действия такой системы при соответствующем выборе рабочей длины волны передатчика не зависит от геометрической видимости и определяется мощностью передатчика, установленного на объекте, и чувствительностью приемников пеленгаторов.

Радиопеленгационные системы широко применяются для определения координат морских судов, самолетов, ракет, спутников Земли и других подвижных и неподвижных объектов с работающими передатчиками.

Радионавигационные угломерные устройства позволяют определять координаты объекта и другие параметры его движения не только с пункта управления, но и на самом объекте. В последнем случае на объекте устанавливается пеленгатор, с помощью которого определяются направления на две работающие радиостанции, местоположение которых известно. Пересечение этих направлений на карте соответствует местоположению объекта. С помощью выходных сигналов такого пеленгатора может осуществляться управление объектом.

Недостатком навигационных угломерных устройств, используемых для контроля в системах управления, является то, что они не позволяют получить координату объекта в вертикальной плоскости (высоту). Для определения высоты объекта над поверхностью земли используются радиовысотомеры, основанные на радиолокационном принципе измерения дальности.

Разностнодальномерные и дальномерные радионавигационные устройства. В качестве систем контроля положения телеуправляемых объектов широко используются разностнодальномерные (гиперболические) и дальномерные (круговые) радионавигационные устройства.

Принцип действия гиперболической системы основан на измерении на объекте разности времени прихода радиосигналов от двух наземных станций, местоположение которых известно. Геометрическое место точек, для которых разность времени прихода сигналов от двух наземных станций является постоянной величиной, представляет собой гиперболу (рис. 10).

По известным координатам станций *А* и *А'* на карте строятся гиперболы, соответствующие определенным разностям прихода сигналов от этих станций. Путем измерения на объекте разности времени прихода двух сигналов определяется гипербола, на которой находится объект.

Для определения местоположения объекта необходимо иметь еще одно семейство гипербол, пересекающееся с первым. Второе семейство гипербол образуется другой парой станций—*Б* и *Б'*. Два семейства пересекающихся гипербол можно получить и с помощью трех соответствующим образом расположенных наземных станций.

Таким образом, в гиперболическую навигационную систему определения координат своего положения непосредственно на объекте должны входить четыре или три наземные станции и бортовое приемное устройство, измеряющее две разности прихода радиосигналов от двух пар станций. На практике, как правило, применяются только три наземные станции. Одна из них является ведущей (задающей), осуществляющей управление двумя другими станциями. Ведущая станция представляет собой передатчик, а ведомые станции ретранслируют сигналы ведущей станции.

В гиперболических радионавигационных системах могут использоваться непрерывные и импульсные радиосигналы Наиболее распространенными являются импульсные системы.

При любом местоположении объекта в зоне действия гиперболической системы первым на ней принимается сигнал ведущей станции, а затем ведомой. Последняя излучает сигналы с постоянной задержкой по времени, определяемой расстоянием между станциями (базой). Для того чтобы осуществить селекцию сигналов на приемной стороне, частоты повторения импульсов каждой пары станций выбираются различными. Несущие частоты всех наземных станций (ведущей и ведомых) одинаковы.

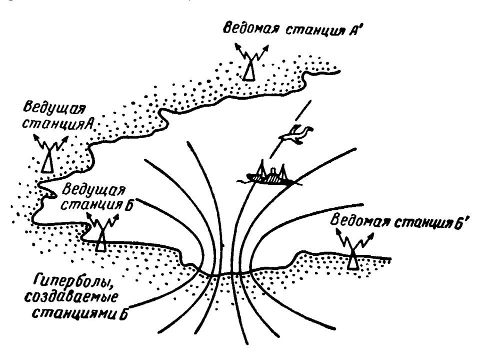


Рис. 10. Разностно-дальномерная радионавигационная система.

Бортовое устройство, устанавливаемое на управляемом объекте, включает в себя приемник и индикатор. С помощью приемника производится прием сигналов всех наземных станций системы. В индикаторе осуществляются селекция импульсных сигналов по частоте их повторения и измерение временных интервалов между ними. Индикаторы могут быть неавтоматическими, полуавтоматическими и автоматическими.

Неавтоматические индикаторы устанавливаются на самолетах, при этом управление индикатором (поиск, селекция сигналов и измерение временных интервалов) осуществляется оператором.

В полуавтоматических индикаторах селекция импульсных сигналов и их поиск обеспечиваются оператором, а измерение временных интервалов производится автоматически.

В автоматических индикаторах, которые называют компараторами, все операции выполняются автоматически. С компаратора снимаются напряжения, характеризующие положение объекта в прямоугольной системе координат. Высота объекта над земной поверхностью определяется в этом случае с помощью радиовысотомера. Сигналы, характеризующие положение объекта, могут подаваться на наземный пункт управления по радиотелеметрической линии.

Принцип действия круговой (дальномерной) радионавигационной системы контроля основан на измерении расстояния от управляемого объекта до двух наземных станций, местоположение которых известно. Таким образом, круговая радионавигационная систе-

ма включает в себя два радиодальномерных устройства, измеряющих расстояния между объектом и двумя точками на земной поверхности. Линиями положения в дальномерных устройствах являются окружности, соответствующие постоянному значению измеряемого значения дальности. Измерением расстояния от объекта до одной наземной станции находится одна, а измерением расстояния до другой наземной станции от того же объекта вторая линия положения. Точка пересечения найденных линий положения на карте определяет координаты объекта.

В настоящее время наибольшее применение находят импульсные радиодальномерные устройства с отсчетом измеренного рас-

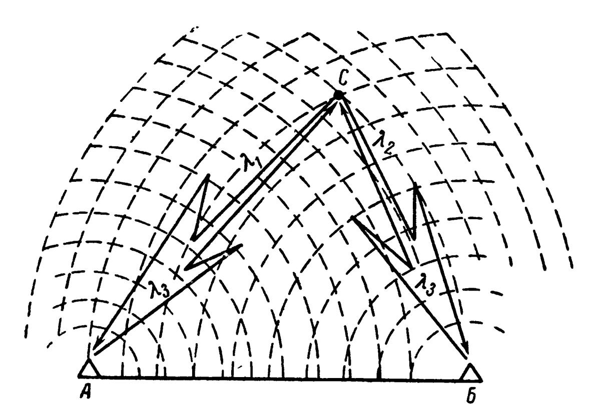


Рис. 11. Дальномерная радионавигационная система.

стояния на борту подвижного объекта управления. Принцип работы такой дальномерной системы иллюстрируется на рис. 11.

На управляемом объекте *C* устанавливаются импульсный передатчик-запросчик, работающий поочередно на волнах λ_1 и λ_2, и приемник, настроенный на прием колебаний с волной λ_3. Наземные станции *A* и *Б* системы включают в себя приемник и передатчик; при этом приемник станции *A* настроен на волну λ_1, а приемник станции *Б* на волну λ_2. Передатчики обеих станций работают на волне λ_3.

Вся система работает следующим образом. В некотором интервале времени передатчик (запросчик) работает на волне λ_1. Его импульсные высокочастотные сигналы принимаются приемником станции *A* и переизлучаются передатчиком этой станции на волне λ_3. При принятии переизлученных сигналов приемником бортовой установки определяется расстояние между объектом и станцией *A* (за счет измерения времени прохождения сигнала от точки *C* до *A* и обратно) и находится соответствующая линия положения. В последующий отрезок времени передатчик (запросчик) работает на волне λ_2, при этом осуществляется измерение аналогичным образом расстояния до наземной станции *Б*. Далее процесс повторяется, так что измерение расстояний от объекта до назем-

ных станций A и $Б$ осуществляется периодически с определенной частотой.

Для определения координат управляемого объекта к бортовой аппаратуре радионавигационной дальномерной системы придается счетно-решающий прибор, с выхода которого могут быть получены управляющие напряжения, характеризующие отклонение объекта от заданной траектории движения.

Навигационная система определения координат, основанная на эффекте Допплера. Эффект Допплера заключается в том, что при движении источника колебаний относительно некоторой точки наблюдения частота воспринимаемых сигналов в этой точке будет отличаться от частоты колебаний, генерируемых источником. Разность частот между генерируемыми и воспринимаемыми колебаниями, называемая допплеровской частотой, оказывается при этом про-

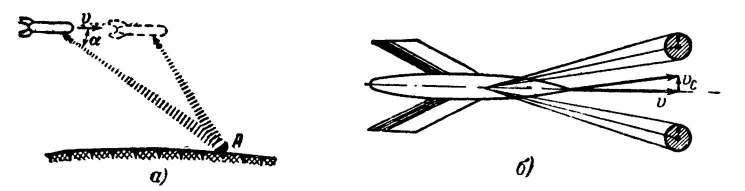


Рис. 12. Допплеровская радионавигационная система.

порциональной скорости изменения расстояния между источником колебаний и точкой их приема. Этот эффект можно легко наблюдать, стоя у полотна железной дороги, когда по ней быстро проходит паровоз, подающий звуковые сигналы. При приближении паровоза слышится более высокий, а при удалении более низкий тон сигнала.

Измерив допплеровскую частоту, можно определить относительную скорость движения источника колебаний и точки их приема. Определение указанной скорости осуществляется следующим образом. На движущемся объекте (пусть таким объектом будет управляемый самолет или ракета) устанавливается радиопередатчик, генерирующий колебания с некоторой частотой f_0 (рис. 12,*а*) Посредством остронаправленной антенны эти колебания излучаются в направлении земной поверхности под углом α к горизонту (к оси самолета). Отразившись от Земли, сигналы возвратятся и принимаются самолетным приемником. Вследствие наличия относительной скорости между самолетом и точкой A на земной поверхности сигналы в точке A будут иметь частоту

$$f_1 = f_0\left(1 + \frac{v}{c}\cos\alpha\right),$$

где c — скорость распространения электромагнитных волн;

v — скорость движения самолета;

f_0 —частота колебаний, излучаемых радиопередатчиком.

Точка A, отражающая пришедшие колебания, может рассматриваться в этом случае как некоторый источник колебаний. Поскольку

прием отраженного сигнала происходит при наличии относительной скорости перемещения, то в самолетный приемник поступят сигналы с частотой

$$f_2 = f_1\left(1 + \frac{v}{c}\cos\alpha\right).$$

Из последнего выражения с учетом незначительности отношения v/c может быть получена следующая формула для определения скорости движения самолета, если известна допплеровская частота $f_д = f_2 - f_0$ и угол наклона луча α:

$$v = \frac{c f_д}{2f_0 \cos\alpha}.$$

Допплеровская частота в приемном устройстве выделяется с помощью следящего селективного фильтра.

На самолете может быть установлено электронное вычислительное устройство, решающее полученное уравнение при введении в него величин f_0, $f_д$ и угла α. С выхода такого прибора могут быть сняты электрические сигналы, пропорциональные скорости движения самолета в горизонтальном направлении.

Для получения координаты дальности в некотором направлении необходимо пути $\Delta S = v\Delta t$, проходимые самолетом в этом направлении в отдельные отрезки времени Δt, складывать (интегрировать). Эту операцию выполняют особые элементы счетно-решающего устройства — интеграторы.

Для измерения перемещений движения объектов в двух направлениях (продольном и поперечном) на них устанавливается двухлучевая допплеровская система (рис. 12,*б*), имеющая две антенные системы. Лучи обеих антенн симметрично отклонены от продольной оси объекта в горизонтальной плоскости Если направление скорости движения объекта совпадает с направлением его оси, то допплеровские частоты, получаемые от левого и правого лучей, будут одинаковыми. При наличии поперечной составляющей скорости, т. е. когда скорость объекта не направлена вдоль его оси, допплеровская частота, получаемая за счет правого луча, будет отличаться от допплеровской частоты, получаемой за счет левого луча. Разность указанных частот определяет величину боковой скорости (скорости скольжения). Направление скорости скольжения характеризуется разностью абсолютных значений указанных допплеровских частот. Скорость скольжения $v_с$ (рис. 12,*б*) направлена в сторону луча, за счет которого получена бо́льшая по величине допплеровская частота.

Интегрирование продольных и поперечных скоростей с помощью двух интеграторов и счетно-решающего устройства позволяет определить координаты объекта в любой момент времени и выработать управляющие напряжения при отклонении объекта от заданной траектории полета.

Допплеровские радионавигационные устройства являются автономными системами навигации, поскольку они не связаны с наземным оборудованием. Это является их существенным преимуществом по сравнению с другими системами.

9. РАДИОТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ

Современные радиотелеметрические линии контроля систем командного управления подвижными объектами обеспечивают возможность измерения и передачи как внешних параметров движения управляемого объекта (определение координат, направления и величины скорости движения и т. п.), так и параметров, характеризующих состояние процессов и агрегатов на этом объекте.

Ни одна из описанных выше систем контроля не обладает таким свойством.

Точность определения координат объектов радиотелеметрическими системами в значительной степени зависит от погрешностей применяемых датчиков. Поэтому подбор датчиков представляет одну из важнейших задач при разработке радиотелеметрических систем контроля.

Глава третья

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ РАДИОЛИНИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В РАДИОТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

10. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТОДАХ ПОСТРОЕНИЯ МНОГОКАНАЛЬНЫХ РАДИОЛИНИЙ

В радиотелемеханических системах для передачи команд на телеуправляемый объект и сигналов контроля за его состоянием используются радиолинии, обеспечивающие передачу нескольких не связанных между собой сообщений на одной несущей частоте. Такие радиолинии называются многоканальными.

Многоканальные радиолинии, кроме радиотелемеханических систем, находят широкое применение в радиорелейной связи. При построении многоканальных радиолиний используется диапазон УКВ (вплоть до сантиметровых), обладающий значительно бо́льшими возможностями в смысле обеспечения широких полос пропускания радиоустройств и уменьшения взаимного влияния между каналами, а также рядом других возможностей.

Находят применение многоканальные радиолинии с непрерывным и импульсным излучением. Выбор вида излучения в многоканальной радиолинии обусловливается свойствами передаваемых сигналов, числом размещаемых в радиолинии каналов и другими факторами.

Одной из наиболее важных характеристик многоканальной радиолинии является способ разделения каналов (сообщений) на приемной стороне. В настоящее время различают многоканальные радиолинии с частотным, временным и кодовым разделением каналов. Частотный метод разделения каналов используется преимущественно в радиолиниях с непрерывным излучением. В импульсных многоканальных радиолиниях применяется, как правило, временное и кодовое разделение каналов.

11. МНОГОКАНАЛЬНЫЕ РАДИОЛИНИИ С ЧАСТОТНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

При частотном разделении каналов напряжение несущей частоты передатчика модулируется вспомогательными, так называемыми поднесущими колебаниями. Для каждого канала выбирается своя определенная частота. Количество поднесущих частот равно числу каналов. Каждая поднесущая частота в свою очередь модулируется передаваемым по соответствующему каналу сообщением.

На приемной стороне после детектора устанавливается система селективных фильтров, с помощью которых происходит разделение модулированных сигналов поднесущих частот по соответствующим цепям (каналам). Выделенные фильтрами модулированные колебания поднесущих частот подвергаются демодуляции.

Из краткого рассмотрения принципа частотного разделения каналов следует, что на передающей стороне осуществляются двойная модуляция, а на приемной — двойное последовательное детектирование. Поднесущие колебания на передающей стороне могут модулироваться передаваемым сигналом по амплитуде, частоте или фазе. При этом в качестве демодулирующего устройства на приемной стороне используются соответственно амплитудный, частотный или фазовый детекторы. Наибольшее применение находят амплитудная и частотная модуляции.

На рис. 13,*а* приведена функциональная схема части передающей стороны радиолинии, в которой осуществляется амплитудная модуляция поднесущих колебаний передаваемыми (модулирующими) сообщениями соответствующих каналов. В каждом из каналов радиолинии имеется свой генератор поднесущей частоты $F_i (i=1, 2, \ldots, n)$, питающей датчик. Датчик, осуществляет преобразование изменений передаваемой физической величины $П_i (i=1, 2, \ldots, n)$ в изменения амплитуды поднесущего колебания. После усиления выходной сигнал датчика смешивается в суммирующем устройстве Σ с сигналами других каналов и поступает на передатчик для модуляции высокочастотных колебаний по амплитуде или по частоте. Суммирование сигналов всех каналов производится с помощью оконечных усилительных каскадов в каждом канале, работающих на общую нагрузку. Генераторы поднесущих колебаний, датчики и суммирующее устройство образуют шифратор.

Широкое распространение в многоканальных радиолиниях находит частотная модуляция поднесущих колебаний. На рис. 13,*б* представлена функциональная схема шифратора с частотной модуляцией поднесущих колебаний. Изменение величины передаваемого по каналу радиолинии сообщения $П_i$ вызывает изменение частоты поднесущих колебаний, генерируемых управляемым задающим генератором F_i. В сумматоре Σ шифратора производится смешивание модулированных поднесущих колебаний всех каналов.

Важнейшей составной частью приемной установки многоканальной радиолинии с частотной селекцией являются разделительные фильтры. С увеличением числа каналов в радиолинии система фильтров существенно усложняется и становится все более громоздкой и дорогой. При этом за счет перекрытия частотных характеристик фильтров возникают взаимные связи между отдельными каналами, вследствие чего появляются искажения передаваемых сообщений. Повышение помехоустойчивости таких радиолиний осу-

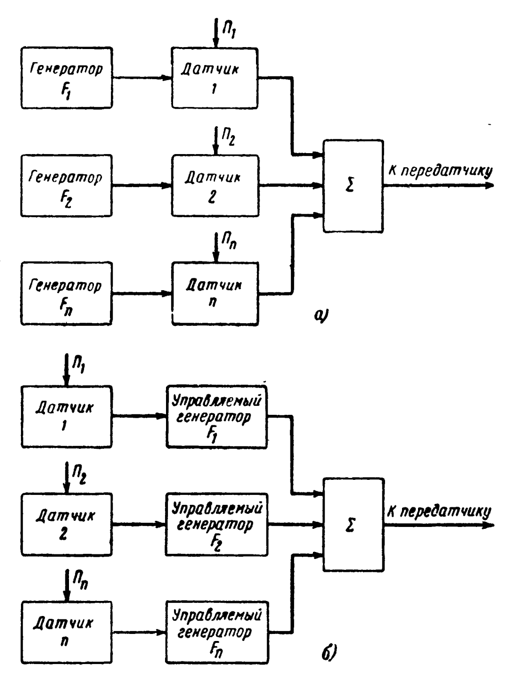


Рис. 13. Функциональные схемы многоканальных радиолиний с частотным разделением каналов.

ществляется за счет максимального сужения полосы пропускания приемного устройства, что во многих случаях приводит к противоречию с требованием быстродействия системы и ее пропускной способности.

Многоканальные радиолинии с частотной селекцией строятся, как правило, с небольшим числом каналов (не более 10—15).

12. МНОГОКАНАЛЬНЫЕ РАДИОЛИНИИ С ВРЕМЕННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

Сущность временного метода разделения каналов заключается в том, что для передачи сигналов каждому каналу радиолинии представляется поочередно со строгой периодичностью относительно короткий временной интервал. В результате передача сигналов в каждом из каналов осуществляется прерывисто (дискретно).

Таким образом, если при частотном методе разделения каналов каждому каналу отводится часть общей полосы пропускания радиолинии, которую может занимать спектр непрерывно передаваемого сигнала, то при временном разделении каналов каждому каналу предоставляется вся полоса пропускания, но на некоторую часть общего времени цикла передачи.

При временном разделении каналов возникает необходимость в синхронных распределительных устройствах (коммутаторах) на приемной и передающей сторонах радиолинии, с помощью которых может быть осуществлено поочередное подключение источников передаваемых сообщений к радиолинии на передающей стороне и распределение принятых сигналов по соответствующим каналам на приемной стороне.

На рис. 14 представлена упрощенная функциональная схема, иллюстрирующая принцип построения и работу многоканальной радиолинии с временным методом разделения каналов. На передающей стороне выходы источников передаваемых сообщений *1* и *2* подключаются к неподвижным ламелям коммутатора-распре-

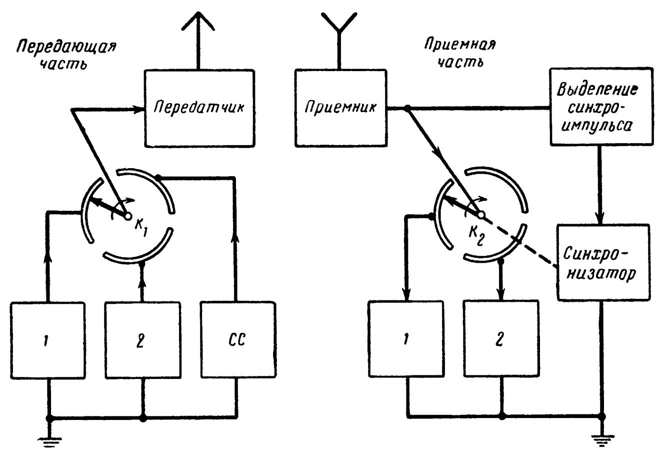


Рис. 14. Упрощенная функциональная схема многоканальной радиолинии с временным разделением каналов.

делителя K_1. Сигналы с этих ламелей с помощью подвижного контакта коммутатора, вращающегося с определенной скоростью, отводятся поочередно к передатчику. На приемной стороне радиолинии после радиоприемника включено распределительное устройство K_2, подвижный контакт которого вращается синхронно и синфазно с подвижным контактом коммутатора-распределителя K_1 на передающей стороне. Это значит, что при подключении к передатчику источника сообщений *1* подвижный контакт распределителя приемной стороны должен находиться на первой неподвижной ламели, а при подключении источника сообщений *2* — на второй ламели.

Для обеспечения синхронной работы распределительных устройств передающей и приемной установок в радиолинии выделяется канал, по которому за каждый оборот передающего коммутатора на приемную сторону посылается специальный синхронизирующий сигнал *СС*. Этот сигнал отличается каким-либо признаком от типовых посылок сигналов в каналах, например по длительности.

В качестве коммутирующих устройств приемной и передающей сторон многоканальной радиолинии с временным разделением каналов используются как электромеханические, так и электронные устройства. В системах с медленно меняющимися передаваемыми сигналами скорость коммутации каналов выбирается небольшой (50—100 *гц*); при этом часто применяются электромеханические коммутаторы на передающей стороне и электронные распределители на приемной. Применение механических распределительных устройств на приемной стороне ограничивается трудностью их синхронизации. При передаче быстро изменяющихся сигналов по каналам радиолинии частота переключения каналов также должна быть большой (десятки тысяч герц). В этом случае как на передающей, так и на приемной стороне применяются электронные коммутаторы.

Из рассмотрения принципа работы многоканальной радиолинии с временным разделением каналов следует, что передающее устройство за один цикл излучает несколько (по числу каналов) импульсов, которые определенным образом отображают модулирующее напряжение своего канала. На схеме, представленной на рис. 14, коммутатор K_1 осуществляет амплитудно-импульсную модуляцию (АИМ). Помимо АИМ в многоканальных радиолиниях с временным разделением каналов часто используется широтно-импульсная, фазово-импульсная и кодово-импульсная модуляции (ШИМ, ФИМ и КИМ).

Принцип распределения канальных импульсов по соответствующим временным интервалам каналов с помощью электронных коммутирующих устройств основан на задержке импульса каждого последующего канала относительно импульса предыдущего канала на определенное время, включающее в себя временной интервал канала и защитный промежуток между каналами.

На приемной стороне радиолинии после распределения импульсов по соответствующим каналам осуществляется их демодуляция (детектирование). Так выделяются передаваемые сообщения в каждом из каналов.

Во многих радиотелеметрических системах, используемых при исследовании зависимости параметров некоторых устройств от времени, импульсные последовательности каналов не демодулируются, а записываются на фотопленку. Впоследствии фотограммы дешифрируются.

Использование метода временного разделения каналов позволяет создать сравнительно простые по устройству, надежно работающие радиолинии с большим числом каналов. При этом взаимное влияние каналов оказывается менее существенным, чем при частотном разделении каналов.

13. МНОГОКАНАЛЬНЫЕ РАДИОЛИНИИ С КОДОВЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

В последнее время находит все более широкое применение кодовый метод разделения каналов. При кодовой селекции каждому каналу присваивается определенная кодовая группа (комбинация) импульсов. Код состоит из n импульсов, расположенных в группе друг относительно друга на заданных временных интервалах. Комбинация временных интервалов между импульсами являет-

ся характеристикой кодовой группы и не может быть одинаковой для различных каналов. При последовательном кодообразовании каждой кодовой группе отводится свой временной интервал.

Последовательность импульсов на выходе модулятора многоканальной радиолинии с кодовым разделением каналов имеет вид, представленный на рис. 15. Здесь кодовая группа каждого канала (1, 2, . . ., n) состоит из трех импульсов, относительное положение которых определяется временными интервалами t_1 и t_2, различными для разных каналов. Эти группы периодически повторяются с периодом $T_ц$ (цикл передачи). В процессе модуляции изменяются одновременно параметры всех импульсов кодовой группы канала без изменения интервалов t_1 и t_2.

Наиболее употребительным видом первичной модуляции в радиолиниях с кодовым разделением каналов является фазово-

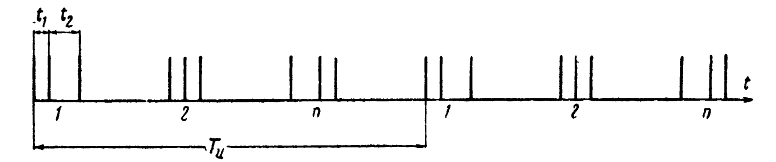


Рис. 15. Кодовый метод разделения каналов.

импульсная модуляция (ФИМ), при которой под воздействием модулирующего напряжения происходит временно́е (фазовое) смещение кодовой группы импульсов относительно своего тактового положения (положение кодовой группы на временно́й оси в отсутствие модуляции). Измерение временно́го сдвига рабочей кодовой группы канала на приемной стороне производится относительно другой кодовой группы — опорной, положение которой при модуляции не меняется. На все каналы может быть одна или несколько опорных кодовых групп в цикле передачи.

Радиолиния с последовательным кодообразованием напоминает многоканальную радиолинию с временно́й селекцией каналов. Если при временно́м разделении каналов основным признаком, по которому производится распределение импульсов на приемной стороне, является временно́е положение импульсов, то при кодовом разделении различие сигналов определяется структурой кодовой группы. При кодовой селекции каналов необходимость в синхронизации работы передающего и приемного устройств с целью правильного распределения сигналов по каналам на приемной стороне отпадает, что приводит к упрощению радиолинии.

На рис. 16 представлена функциональная схема радиолинии с кодовым разделением каналов. Генератор тактовых импульсов *ГИ* посредством коммутатора, представляющего собой устройство последовательной задержки, управляет работой модуляторов M_1, M_2, . . ., M_n отдельных каналов. В этих модуляторах осуществляется фазово-импульсная модуляция последовательностей канальных импульсов передаваемыми сообщениями u_{c1}, u_{c2}, . . ., u_{cn}. Импульсы каждого канала подаются в кодообразователи KO_1, KO_2, . . , KO_n, на выходе которых образуются кодовые группы каналов, также модулированные по фазе в соответствии с измене-

ниями передаваемых сообщений. Кодообразователь $КО_0$ формирует опорные кодовые группы. С кодообразователей кодовые группы всех каналов и опорные кодовые группы поступают в суммирующее устройство Σ и далее на модулятор передатчика.

На приемной стороне перед демодуляцией каждая кодовая группа декодируется с помощью специальных декодирующих устройств $ДУ_1$, $ДУ_2$, . . ., $ДУ_n$ и $ДУ_0$. Демодуляция осуществляется в демодуляторных каскадах $Д_1$, $Д_2$, . . ., $Д_n$, преобразующих перемещение рабочих импульсов относительно опорных в выходные напряжения u_{c1}', u_{c2}', . . ., u_{cn}'.

Наряду с последовательным распределением каналов использование кодовой селекции позволяет осуществить в многоканальной

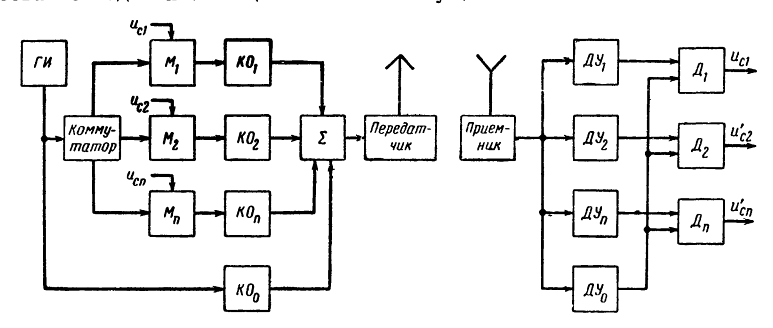


Рис. 16. Функциональная схема многоканальной радиолинии с кодовым разделением каналов.

радиолинии и параллельное распределение каналов, при котором импульсы кодовой группы одного канала размещаются в одном временно́м интервале с кодовыми группами других каналов. При это возможно взаимное перекрытие групп импульсов, кодированных разными кодами.

При параллельном распределении каналов за счет увеличения временно́го интервала, отводимого каналу, точность передачи сигналов по радиолинии может быть повышена. Это существенное преимущество параллельного распределения каналов по циклу передачи. Недостатком параллельного распределения каналов является возможность образования ложных кодовых комбинаций при взаимном перекрытии кодовых групп различных каналов в процессе их перемещения по общему временно́му интервалу. Ложная кодовая группа может совпадать по структуре с кодовой группой одного из каналов и искажать передаваемый по нему сигнал. Мерой борьбы с ложным кодообразованием является соответствующий выбор структур кодовых групп параллельно распределенных каналов. Возможно также построение радиолинии со смешанным распределением каналов по циклу передачи.

Кодовый метод распределения каналов позволяет создать радиолинии с большим числом каналов для передачи как плавно изменяющихся сигналов, так и разовых команд. Радиолиния при этом может обеспечивать высокую помехоустойчивость и точность воспроизведения передаваемых команд.

14. ВИДЫ КОМАНД И СИГНАЛОВ, ПЕРЕДАВАЕМЫХ ПО РАДИОЛИНИЯМ ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

На телеуправляемый объект по командной радиолинии посылаются определенные команды. Задача приемного устройства телеуправляемого объекта состоит в преобразовании этих команд в соответствующие перемещения органов управления.

Различают разовые команды, посылаемые для эпизодического корректирования соответствующего движения или для возбуждения отдельных процессов на телеуправляемом объекте, и непрерывные команды для текущего непрерывного управления движением или процессами. Разовые команды в свою очередь делятся на простые однократные и многократные команды.

Простая однократная команда подается в выбранный момент времени на телеуправляемый объект и вызывает на нем определенный процесс, который затем не может быть отменен путем подачи сигналов телеуправления. Для формирования такой команды может быть использован любой из принципов передачи сигналов по многоканальным радиолиниям.

Многократная команда представляет собой передачу различных команд, следующих одна за другой во времени. При этом может производиться отмена предыдущей команды или ее изменение (передача команд типа да — нет). По принципу многократной команды могут передаваться дискретные значения плавно изменяющейся команды. Для передачи многократных команд наиболее широко применяются частотный и временной методы разделения сигналов. Успешно может быть использован и кодовый метод.

Непрерывные (плавно изменяющиеся) команды применяются во всех случаях, когда предъявляются более высокие требования к точности работы системы управления. Такие команды могут быть постоянными по знаку и знакопеременными. Последние в отличие от команд с измененным знаком в процессе управления могут меняться не только по величине, но и по знаку с переходом величины передаваемой команды через нуль. Так, например, непрерывная знакопеременная команда подается на подвижный управляемый объект для плавного перемещения рулей влево — вправо от нейтрального положения.

Относительная величина плавно изменяющихся команд характеризуется коэффициентом команды

$$K_{к} = \frac{K}{K_{макс}},$$

где K — величина передаваемой команды;

$K_{макс}$ — наибольшее значение, которое может иметь эта команда.

При управлении рулем величина $K_{макс}$ соответствует такой команде, при которой руль на управляемом объекте отклоняется до упора. В этом случае величины передаваемых команд K могут иметь значения в пределах от $-K_{макс}$ до $+K_{макс}$ с переходом через нулевое значение.

Величина коэффициента $K_{к}$ безразмерная, а величины K и $K_{макс}$ имеют одинаковую размерность. Если измеряется отклонение ручки командного прибора, то K и $K_{макс}$ выражаются в градусах. На выходе радиолинии эти величины будут выражаться в вольтах или амперах. При измерении передаваемой команды по

отклонению рулей величины K и $K_{макс}$ будут также выражаться в градусах.

Для передачи плавно изменяющихся команд могут использоваться амплитудная, фазовая и частотная модуляции поднесущих колебаний (непрерывных и импульсных). В настоящее время для передачи непрерывных команд широко используется временной ме-

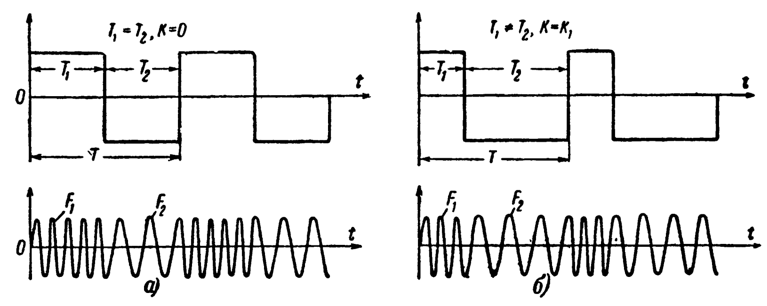


Рис. 17. Временной метод формирования количественных значений команд управления.

тод, часто называемый методом временных соотношений. Сущность этого метода состоит в том, что на передающей стороне радиолинии датчик команд вырабатывает периодическую последовательность биполярных импульсов (рис. 17) с изменяющимися длительностями T_1 и T_2 в соответствии с величиной передаваемой команды.

Величина команды и ее знак определяются разностью длительностей импульсов:

$$K = T_1 - T_2.$$

Коэффициент команды при этом определяется следующим соотношением:

$$K_к = \frac{T_1 - T_2}{T_1 + T_2}.$$

Выработанная датчиком команд последовательность биполярных импульсов поступает в шифратор, в котором в течение времени T_1 генерируется синусоидальное напряжение частоты F_1, а в течение времени T_2 частоты F_2 На приемной стороне за счет частотного разделения производится выделение импульсов длительностью T_1 и T_2. По временно́му соотношению между ними определяется величина принятой команды.

Глава четвертая

ЭЛЕМЕНТЫ РАДИОТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

15. УСТРОЙСТВА ФОРМИРОВАНИЯ КОМАНД УПРАВЛЕНИЯ (КОМАНДНЫЕ ПРИБОРЫ)

Устройства, с помощью которых формируются команды на основании измеренных значений рассогласования между истинным и необходимым состоянием управляемого объекта или процесса, называются командными приборами или датчиками команд.

Для формирования разовых команд применяются простейшие устройства в виде электрических кнопок, реле, контактных и распределительных устройств, временны́х реле, различны́х пороговых устройств и т. п. Перечисленные устройства могут применяться в различных комбинациях. Более сложными датчиками команд являются приборы, с помощью которых формируются плавно изменяющиеся команды.

Ранее указывалось, что плавно изменяющиеся команды могут быть постоянными по знаку и знакопеременными. В соответствии с этим различают устройства формирования плавно изменяющихся команд с постоянным знаком и устройства формирования плавно изменяющихся знакопеременных команд. В первом случае может использоваться обычный потенциометрический датчик, подвижный контакт которого механически связывается с ручкой командного

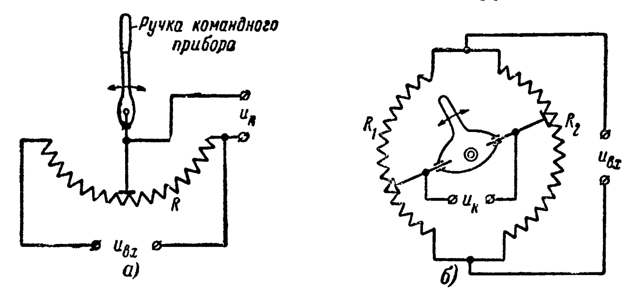


Рис. 18. Потенциометрические датчики команд.

прибора и перемещается соответственно вместе с ней при изменении величины передаваемой команды (рис. 18,*а*). Потенциометр датчика питается напряжением постоянного или переменного тока поднесущего колебания $u_{вх}$. В первом случае с выхода командного прибора снимается напряжение команды $u_к$, которое используется для осуществления первичной модуляции. Если $u_{вх}$ имеет синусоидальную форму, то напряжение командного прибора представляет собой поднесущее колебание, амплитуда которого соответствует величине передаваемой команды. Для формирования знакопеременных команд может использоваться сдвоенный потенциометрический датчик (рис. 18,*б*).

В радиолиниях с временны́м методом формирования количественных значений команд в качестве командных приборов используются электронные или механические коммутирующие устройства, посредством которых производится поочередное подключение в течение отрезков времени T_1 и T_2 (рис. 17) синусоидальных колебаний, имеющих частоты F_1 и F_2, или последовательностей групп импульсов, кодированных двумя различными кодами.

На рис. 19 приведена схема комбинированного командного прибора для формирования команд по методу временны́х соотношений при использовании в качестве поднесущих сигналов синусоидальных колебаний частот F_1 и F_2. Командный прибор состоит из потенциометрического датчика команд *П* и электронного коммутирующего устройства. Положением движка потенциометра *П* задается величина передаваемой команды и тем самым определяет-

ся соотношение длительностей положительных импульсов на сопротивлениях R_5 и R_6 самовозбуждающегося мультивибратора.

Положительный импульс, снимаемый с сопротивления R_6 в цепи катода правой (по схеме) половины лампы мультивибратора запирает диод $Д_1$ первой схемы совпадения, состоящей из диодов $Д_1$, $Д_2$ и сопротивления R_7. Напряжение, образующееся в точке A, состоит из двух составляющих: синусоидального колебания частоты F_1 и постоянного положительного смещения, снимаемого с делителя R_8, R_9. Когда с сопротивления R_6 снимается положительный импульс, напряжение на сопротивлении R_5 близко к нулю. В это

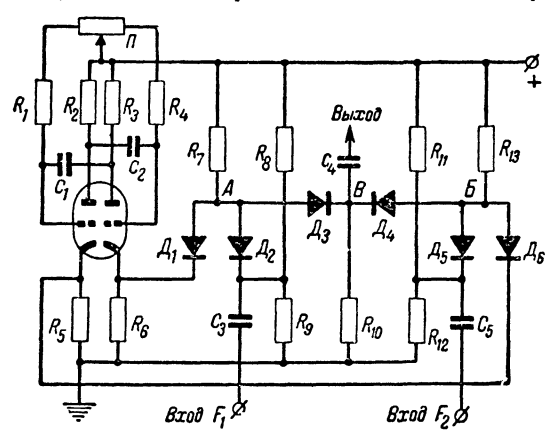


Рис. 19. Схема командного прибора с электронным коммутатором.

время диод $Д_6$ второй схемы совпадения ($Д_5$, $Д_6$, R_{13}) открыт; напряжение в точке $Б$ близко к нулю, диоды $Д_4$ и $Д_5$ закрыты, а диод $Д_3$ открыт. Поэтому напряжения в точках A и B одинаковы. Колебания частоты F_1 через конденсатор C_4 поступают на выход устройства.

В противоположном состоянии мультивибратора, т. е. когда открыта его левая (по схеме) половина лампы и положительный импульс снимается с сопротивления R_5, диод $Д_1$ открыт, напряжение в точке A близко к нулю, диоды $Д_2$, $Д_3$ и $Д_6$ закрыты, диод $Д_4$ открыт и на выход устройства проходят колебания частоты F_2.

Таким образом, при работе мультивибратора на выходе командного прибора появляются попеременно пакеты синусоидальных колебаний то частоты F_1, то частоты F_2. Разность длительностей пакетов синусоидальных колебаний указанных частот отражает величину передаваемой команды (величину отклонения движка потенциометра от среднего положения).

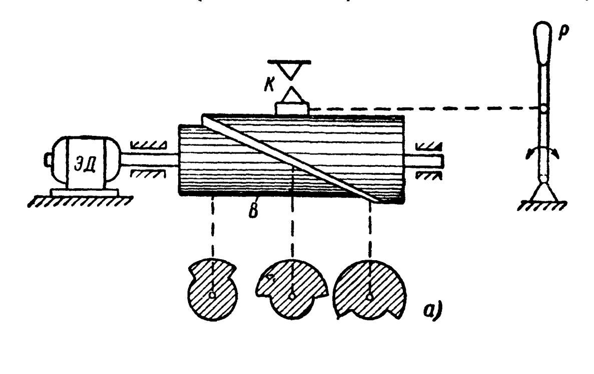
Для передачи синусоидальных колебаний через командный прибор без искажений необходимо, чтобы величина импульсов на сопротивлениях в катодных цепях лампы мультивибратора несколько превышала удвоенную амплитуду синусоидальных колебаний.

Постоянное смещение на диодах $Д_2$ и $Д_5$ должно быть немного больше амплитуды синусоидальных колебаний.

Описанное устройство может служить для коммутации напряжений любой формы.

Командные приборы с механическими коммутирующими устройствами весьма разнообразны по своей конструкции.

На рис 20 приведена схема одной из таких конструкций. Электродвигатель *ЭД* приводит во вращение валик *В*, образован-



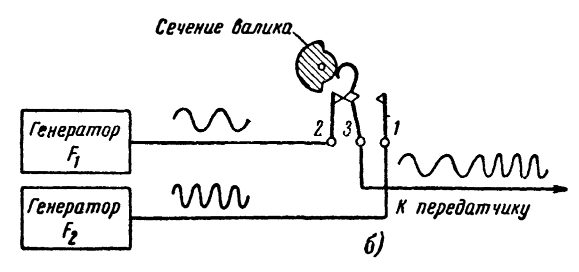


Рис. 20. Схема конструкции командного прибора с механическим коммутатором.

ный из двух усеченных цилиндров разных диаметров так, что форма поперечного сечения этого валика, представляющая собой эксцентричную фигуру, не остается одинаковой по длине. На рис. 20,*а* показаны формы сечений валика в трех местах его длины (посередине, справа и слева от середины).

К валику прижимается контактное устройство *К*, с помощью которого поочередно подключаются к передатчику сигналы с частотами F_1 и F_2. Если контактное устройство находится посередине валика, то в течение половины оборота последнего (время T_1) подвижный контакт *3* замкнут с левым (по схеме) неподвижным контактом *2* и к передатчику подается сигнал частоты F_1 (рис. 20,*б*). В течение второй половины оборота (время T_2) происходит замыкание подвижного контакта с правым неподвижным контактом *1*; при этом к передатчику подается сигнал частоты F_2.

Форма сечения валика по его середине выбрана такой, чтобы временные интервалы времени T_1 и T_2 были равны. Поэтому коэффициент формируемой команды

$$K = \frac{T_1 - T_2}{T_1 + T_2}$$

в этом случае оказывается равным нулю. При положении контактов правее или левее середины валика коэффициент команды изменяется в пределах от +1 до —1. Это означает, что величина формируемой команды изменяется от нуля до максимального значения при отклонении контактного устройства на наибольшую величину от середины валика в любую из сторон. С переменной стороны отклонения меняется знак команды. Таким образом, для изменения коэффициента команды необходимо смещать контакты вдоль валика, что делается с помощью ручки P (рис. 20,*а*) командного прибора, механически связанной с контактным устройством.

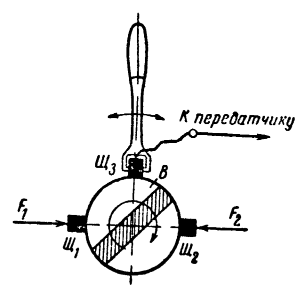


Рис. 21. Командный прибор со щетками.

На рис 21 представлена схема другой конструкции командного прибора с механическим коммутирующим устройством. Такой прибор применяется в командных радиолиниях с передачей количественных значений команд по методу временных соотношений. Он включает в себя вращающийся металлический валик B, разделенный посередине пластинкой из изолирующего материала. К валику прижимаются три щетки $Щ_1$, $Щ_2$ и $Щ_3$ Две из них ($Щ_1$ и $Щ_2$) находятся на диаметрально противоположных сторонах валика. К щетке $Щ_1$ подводится сигнал с частотой F_1, а к щетке $Щ_2$ — с частотой F_2. Третья щетка $Щ_3$ является отводящей. Она может перемещаться с помощью ручки командного прибора вокруг оси валика по его поверхности. Если ее расположить посередине между щетками $Щ_1$ и $Щ_2$, то интервалы времени T_1 и T_2, в течение которых подключаются к передатчику сигналы соответственно с частотами F_1 и F_2, будут равны, т. е. будет формироваться нулевая команда. Смещение щетки $Щ_3$ в одну или другую сторону приводит к изменению соотношений временны́х интервалов T_1 и T_2, при котором величина формируемой команды увеличивается. Изменение стороны отклонения щетки $Щ_3$ от среднего положения сопровождается сменой знака команды.

Командные приборы с механическими коммутирующими устройствами просты в регулировке и эксплуатации. Однако они достаточно громоздки и могут применяться лишь для формирования медленно изменяющихся команд.

Рассмотренные выше командные приборы пригодны для формирования команды только по одному каналу. Если же нужно одновременно передавать n команд, то число командных приборов должно быть соответственно увеличено. При этом могут использоваться более сложные комбинированные командные приборы, построенные с учетом особенностей одновременно передаваемых команд.

16. ДАТЧИКИ

Как уже указывалось, датчиками называют устройства, воспринимающие измеряемые величины и преобразующие их в электрические сигналы. Выбор типа и конструкции датчика определяется необходимым преобразованием.

Входными неэлектрическими величинами датчиков могут быть: механические величины, к которым относятся перемещения (линейные и угловые), скорость, ускорение, сила и моменты сил, упругость, частота колебаний, размеры, вес и объем различных тел; физические величины, представляющие собой температуру, количество тепла, теплоемкость, тепловое сопротивление, магнитные свойства материала, цвет, освещенность, световой поток, силу света, интенсивность излучения; химические величины, такие как концентрация вещества и его количество; органические величины, связанные с физиологическими процессами.

Выходными электрическими величинами датчиков обычно являются активное, индуктивное или емкостное сопротивление, э. д. с. или падение напряжения, частота и фаза переменного тока.

Важнейшей характеристикой всех типов датчиков является их чувствительность S, определяемая как отношение приращения выходного сигнала ΔM датчика к соответствующему приращению входной величины ΔN,

$$S = \frac{\Delta M}{\Delta N}.$$

У датчиков с линейной зависимостью выходной величины от входной чувствительность постоянна. У нелинейных же датчиков она является функцией входной величины.

Датчик должен обеспечивать возможность получения непрерывной зависимости выходной величины от измеряемой входной, достаточную чувствительность, необходимый диапазон изменений измеряемой величины, удобное согласование с измерительной аппаратурой и не должен оказывать существенного обратного влияния на измеряемую неэлектрическую величину.

Известно большое число датчиков, отличных по своей конструкции и назначению. Они смогут быть классифицированы по различным признакам, важным в том или другом отношении. В последнее время широко используется классификация по принципу действия датчиков. В соответствии с этим признаком датчики подразделяются на потенциометрические, тензометрические, индуктивные, емкостные, магнитоупругие, индукционные, термоэлектрические, фотоэлектрические, ламповые, радиационные, датчики контактного сопротивления, датчики термосопротивления, пьезодатчики и комбинированные датчики. Основные типы датчиков представлены на рис. 22.

Потенциометрические датчики. Под потенциометрическим датчиком понимается переменное сопротивление, подвижный контакт которого механически связан с измеряемой величиной.

Наличие подвижного контакта ограничивает срок службы датчиков и ухудшает надежность их работы.

Потенциометрические датчики используются для преобразования механических перемещений, геометрических размеров, уровня жидкостей в напряжения электрического тока. На рис. 22,*а* представлена схема потенциометрического датчика.

Проволочные (тензометрические) датчики. Принцип действия проволочных датчиков основан на свойстве металлической проволоки изменять свое сопротивление при ее растяжении или сжатии внешней силой. При растягивании проволоки ее сопротивление возрастает за счет увеличения длины, уменьшения сечения и измене-

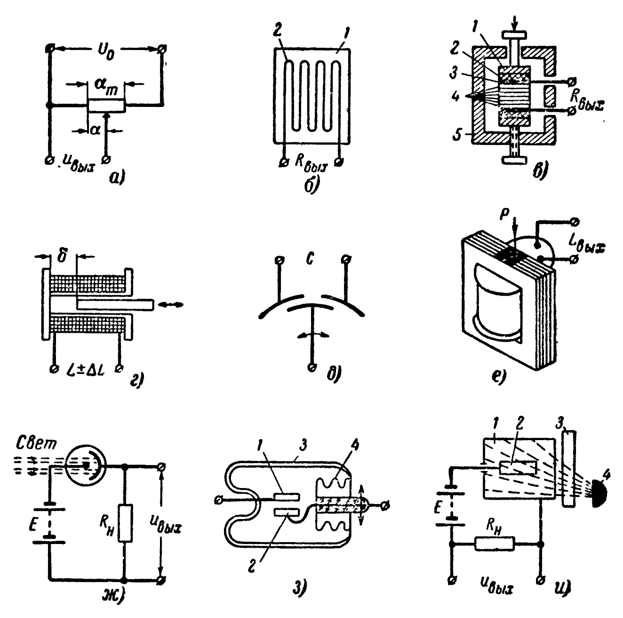


Рис. 22. Датчики.

а — потенциометрический; *б* — проволочный (*1* — бумага, *2* — проволока); *в* — контактного сопротивления (*1* — металлическая шайба, *2* — изоляционная прокладка, *3* — контактная пластина; *4* — угольные шайбы, *5* — корпус); *г* — индуктивный, *д* — емкостный дифференциальный; *е* — магнитоупругий; *ж* — фотоэлектрический; *з* — ламповый (*1* — неподвижный электрод, *2* — подвижный электрод, *3* — баллон, *4* — упругий элемент); *и* — радиационный (*1* — ионизациноная камера, *2* — электрод, *3* — исследуемый материал, *4* — радиоактивный источник ионизации).

ния удельного сопротивления. На рис. 22,*б* приведена схема прозолочного датчика.

Проволочные датчики используются при измерении малых перемещений (главным образом различных деформаций), исследованиях вибраций с достаточно высокой частотой (до 30 *кгц*), в манометрах, динамометрах, микрометрах и других аналогичных устройствах.

Датчики контактного сопротивления. Контактное сопротивление между поверхностями двух твердых тел зависит от величины давления одного тела на другое. Чем больше давление, тем меньше контактное сопротивление (и наоборот). Это явление используется в датчиках контактного сопротивления.

Контактное сопротивление между поверхностью твердых тел зависит также от материала этих тел и от качества обработки соприкасающихся поверхностей. Наиболее существенные изменения контактного сопротивления при изменении давления происходят в случае использования в качестве таких тел электродных углей. На рис. 22,*в* представлена схема датчика контактного сопротивления с несколькими угольными шайбами.

Датчики контактного сопротивления используются при измерении преобразований различных механических давлений, малых перемещений, вибраций, ускорений и других преобразованиях.

Термосопротивления. В этом типе преобразователей используется свойство проводника изменять свое электрическое сопротивление с изменением его температуры.

С помощью термосопротивления может быть осуществлено преобразование любой неэлектрической величины, влияющей на теплообмен проводника с окружающей средой, так как собственная температура термосопротивления определяется тепловым равновесием между ним и окружающей средой.

Термосопротивления используются для измерения температур, различных параметров газовой среды (скорость, теплопроводность), определения кислорода в воде, питающей паросиловые установки, и др.

Индуктивные датчики. Действие индуктивных датчиков основано на свойстве катушки индуктивности изменять свое результатирующее сопротивление при введении в нее ферромагнитного сердечника или при изменении величины зазора в магнитном сердечнике, на котором помещена катушка. Преобразуемой величиной в этом случае может быть механическое перемещение (линейное или угловое), а выходной величиной датчика является изменение индуктивности катушки ΔL (рис. 22,*г*).

Емкостные датчики. Емкость конденсатора зависит от трех параметров: площади обкладок, расстояния между ними и относительной диэлектрической проницаемости среды между обкладками. В соответствии с этим различают три типа емкостных датчиков: с изменяющейся площадью обкладок; с изменяющимся расстоянием между обкладками; с изменяющейся диэлектрической проницаемостью.

Емкостные датчики могут быть использованы для преобразования механических перемещений (линейных и угловых), геометрических размеров деталей, расстояний между деталями, состава физических смесей, частоты вращения, вибраций, измерения уровня жидкостей и других величин. На рис. 22,*д* приведена схема дифференциального емкостного датчика.

Магнитоупругие датчики. Такой датчик представляет собой магнитопровод с размещенной на нем катушкой индуктивности. Если магнитопровод подвергается действию сжимающей силы, то его магнитная проницаемость изменяется, что приводит к изменению полного электрического сопротивления катушки датчика. Таким образом, входной величиной датчика может быть механическое усилие, а выходной величиной — полное сопротивление катушки датчика (рис. 22,*е*).

Индукционные датчики. В индукционных датчиках используется явление электромагнитной индукции Это явление заключается в том, что в проводнике, перемещаемом в магнитном поле перпен-

дикулярно направлению магнитных силовых линий, наводится э. д. с., пропорциональная скорости движения проводника. Аналогично можно наблюдать наведение э. д. с. при перемещении магнитного поля относительно проводника или же при изменении интенсивности магнитного поля вокруг проводника.

Индукционные датчики непосредственно могут применяться только для измерения скорости линейных и угловых перемещений. Особые конструкции (двухфазный и асинхронный тахогенераторы) позволяют измерять ускорения вращающихся валов.

Выходной величиной индукционных датчиков могут быть э. д. с. или частота выходного напряжения.

Термоэлектрические датчики (термопары). Принцип действия термоэлектрических датчиков основан на явлении термоэлектрического эффекта, заключающегося в том, что если два разнородных проводника соединить одними концами в одной точке и место соединения нагреть, то на свободных концах проводников появится э. д с. Величина этой э. д. с. зависит от материалов, из которых изготовлены элементы термопары, и от разности температур соединенных и свободных концов.

Пьезоэлектрические датчики. В этих датчиках используется эффект появления заряда на гранях кристалла при его механической деформации. Величина заряда пропорциональна величине упругих напряжений и не зависит от размеров поверхности нагруженного кристалла. Основным элементом пьезодатчиков является пластинка, вырезанная определенным образом из кристалла. Наибольший пьезоэффект проявляется у кристаллов турмалина, кварца и сегнетовой соли.

Пьезодатчики практически безынерционны. Поэтому они могут быть использованы для исследования быстро изменяющихся усилий.

Фотоэлектрические датчики. Такими датчиками называют устройства, изменяющие свои параметры при воздействии на них световой энергии. Они называются также фотоэлементами.

Применяются три типа фотоэлементов: фотоэлементы с запирающим слоем или вентильные, фотоэлементы с внешним фотоэффектом и фотосопротивления. На рис. 22,*ж* приведена схема фотоэлектрического датчика, использующего фотоэлемент с внешним фотоэффектом.

Фотоэлементы находят самое широкое применение в качестве датчиков при преобразовании различных физических величин.

Ламповые датчики. Основой работы датчиков этого типа служит зависимость анодного тока электронной или ионной лампы от геометрических размеров ее электродов и расстояния между ними.

Ламповый датчик представляет собой электронную лампу, отдельные электроды которой при внешнем механическом воздействии на них могут смещаться относительно других, неподвижных электродов. Перемещение подвижного электрода может быть произведено как непосредственно под воздействием механической величины (лампы внутреннего управления), так и через посредство эластичной части баллона (лампы внешнего управления). Конструкции ламп обоего типа чрезвычайно многообразны. На рис. 22,*з* показана конструкция лампы внешнего управления.

Радиационные датчики. В этих датчиках используется воздействие входной преобразуемой величины на интенсивность проникающего излучения α-, β- или γ-лучей,

В состав датчика входят источник и приемник проникающего излучения. В качестве источников излучения применяются искусственные радиоактивные вещества. На рис. 22,*и* приведена схема радиационного датчика с ионизационной камерой.

Радиационные датчики могут использоваться для измерения геометрических размеров тел, перемещений, плотности и температуры газов и т. п.

Комбинированные датчики. Такого рода датчик представляет собой преобразующее устройство, в котором физическая величина превращается в электрическую путем многократного преобразования. Комбинированные датчики используются в тех случаях, когда преобразуемая физическая величина по условиям преобразования или из-за своих особенностей не может быть непосредственно превращена в электрическую.

Примером комбинированного датчика может служить акселерометр, преобразующий линейное ускорение в электрическую величину. Акселерометр состоит из двух преобразователей. Первый из них представляет собой массивное тело, свободно насаженное на ось. Движение тела вдоль оси ограничивается пружинами. Второй преобразователь — потенциометрический датчик, подвижный контакт которого связан с массивным телом первого преобразователя. При наличии линейного ускорения вдоль оси массивное тело перемещается в сторону, обратную направлению ускорения (ускорение преобразуется в линейное перемещение), увлекая за собой движок потенциометра. Это приводит к появлению на выходе потенциометра напряжения, пропорционального появившемуся ускорению. Иногда первый преобразователь комбинированного датчика называют чувствительным элементом.

17. ГЕНЕРАТОРЫ ПОДНЕСУЩИХ КОЛЕБАНИЙ

Выбор частот поднесущих колебаний, применяемых в многоканальных радиолиниях с частотным разделением каналов, определяется в основном скоростью изменения во времени сигналов, передаваемых по радиолинии. Обычно это частоты звукового диапазона, т. е. от 25 до 20 000 *гц*. В отдельных случаях, когда скорость изменения передаваемого сигнала велика (1 000 *гц* и более), например при исследовании вибраций некоторых частей самолета или другого летательного аппарата, используются поднесущие частоты ультразвукового диапазона (до 50—100 *кгц*).

В качестве генераторов поднесущих частот могут использоваться все виды низкочастотных генераторов, обладающих достаточной стабильностью частоты. Наибольшее распространение получили транзитронные генераторы и *RC*-генераторы. В ряде случаев находят применение обычные типы *LC*-генераторов (трехточечные схемы и схемы с индуктивной связью).

Транзитронный генератор. Такой генератор имеет повышенную стабильность по частоте, что является его существенным преимуществом перед другими видами генераторов.

Работа транзитронного генератора основана на использовании так называемого транзитронного эффекта. Сущность этого эффекта состоит в том, что при наличии отрицательной обратной связи между пентодной и экранирующей сеткой лампы при соответствую-

щем подборе ее режима и параметров схемы может быть получена вольт-амперная характеристика с участком, соответствующим отрицательному сопротивлению. Это означает, что возрастание экранного напряжения приводит не к увеличению, а к уменьшению тока экранирующей сетки лампы.

Если к участку экранирующая сетка — катод лампы, работающей в таком режиме, подключить колебательный контур, то за счет

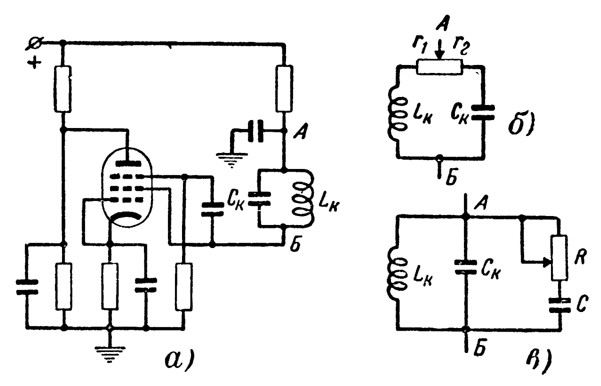


Рис. 23. Схема транзитронного генератора

отрицательного сопротивления может быть скомпенсировано активное сопротивление контура (потери) и тем самым обеспечено поддержание в нем незатухающих синусоидальных колебаний. На рис. 23,*а* приведена схема транзитронного генератора с *LC*-контуром, включенным между экранирующей сеткой и катодом лампы (по току генерируемой частоты).

Если не учитывается влияние активных потерь в контуре, то частота генерируемых колебаний F_0 определяется следующим известным соотношением:

$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_к C_к}},$$

где $L_к$ и $C_к$ — индуктивность и емкость контура.

В радиотелемеханических системах часто требуется применение частотной модуляции. Из приведенного выше выражения следует, что частотная модуляция колебаний транзитронного генератора может быть осуществлена за счет изменения реактивных элементов колебательного контура (индуктивности $L_к$ или емкости $C_к$) в соответствии с величиной передаваемого сигнала. С этой целью указанные элементы заменяются полностью или частично индуктивным или емкостным датчиками, преобразующими передаваемую физическую величину в изменение частоты поднесущего колебания.

Известен другой способ изменения частоты генераторов синусоидальных колебаний с *LC*-контуром, основанный на вариации величины омического сопротивления, входящего в контур. Выраже-

ние, определяющее частоту колебаний генератора с учетом активных потерь в контуре, имеет следующий вид:

$$F = F_0 \sqrt{\frac{1 - \frac{r_1^2}{\rho^2}}{1 - \frac{r_2^2}{\rho^2}}},$$

где $F_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_к C_к}}$;

$\rho = \sqrt{\frac{L_к}{C_к}}$ — характеристическое сопротивление контура;

r_1 — сопротивление, включенное в индуктивную ветвь контура;

r_2 — сопротивление, включенное в емкостную ветвь контура.

Если сопротивления r_1 и r_2 соизмеримы с ρ, то, перераспределяя или изменяя их величину, можно изменять в широких пределах резонансную частоту контура. На рис. 23,*б* показан колебательный контур, при включении которого в схему транзитронного генератора (точки *А* и *Б* на рис. 23,*а*) может изменяться частота генерируемых колебаний за счет перераспределения сопротивлений r_1 и r_2.

Таким образом, включив в колебательный контур генератора датчик, выходной величиной которого является омическое сопротивление, можно осуществить частотную модуляцию поднесущего колебания в соответствии с передаваемой физической величиной.

Получение частотно-модулированных колебаний может быть также достигнуто подключением *RC*-цепочки (рис. 23,*в*) параллельно колебательному контуру. Тогда при изменении сопротивления *R* будет изменяться собственная частота колебательного контура. Пределы изменения этой частоты зависят от значения емкости *С* и диапазона изменения сопротивления *R*. При $R = \infty$ (разрыв) собственная частота контура F_0 будет максимальна и равна:

$$F_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_к C_к}}.$$

Если же $R = 0$, то частота контура F_1 составит минимальное значение, равное:

$$F_1 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_к (C_к + C)}}.$$

Следовательно, изменение *R* от 0 до ∞ приводит к изменению частоты колебательного контура от F_1 до F_0.

Выходной величиной многих из рассмотренных выше датчиков и устройств формирования команд является величина напряжения постоянного или переменного тока. В связи с этим возникает задача осуществления частотной модуляции поднесущих колебаний электрическими сигналами.

Использование реактивных ламп в звуковом и ультразвуковом диапазонах поднесущих частот малоэффективно. Поэтому на практике часто прибегают к замене сопротивления R (рис. 23,*в*), внутренним сопротивлением лампы R_i. Величина R_i модулируется за счет изменения напряжения сеточного смещения. Источником такого переменного смещения может быть модулирующее напряжение.

На рис. 24 приведена схема генератора с частотной модуляцией за счет изменения параметров цепочки RC (рис. 23,*в*), подключаемой параллельно колебательному контуру. В этом генераторе параллельно контуру $L_к$ и $C_к$ подсоединяется эквивалентное сопротивление, зависящее от сопротивлений $R_н$ и R_i. Значение R_i изменяется при перемещениях движка потенциометра *П* или за счет модулирующего напряжения $u_{мод}$, прикладываемого между сеткой и катодом лампы.

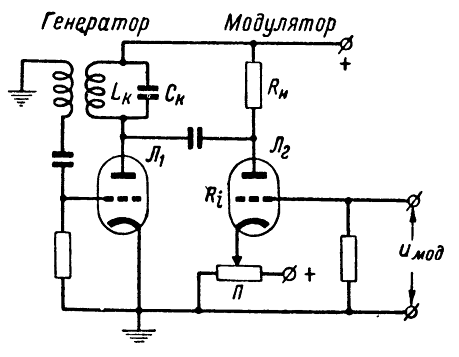


Рис. 24. Схема генератора частотно-модулированных колебаний.

Указанный способ осуществления частотной модуляции может применяться только в тех случаях, когда допустима неглубокая частотная модуляция, т. е. когда отношение максимального изменения частоты ΔF к среднему значению генерируемой частоты F (частота при отсутствии модуляции) не превышает 5—10%. При увеличении отношения $\Delta F/F$ более чем на 10% существенно изменяется качество контура задающего генератора и резко возрастает паразитная амплитудная модуляция.

***RC*-генераторы.** Габариты генераторов поднесущих колебаний на RC по сравнению с генераторами на LC оказываются существенно меньшими. Поэтому в последнее время RC-генераторы находят все более широкое применение.

Известно, что для возбуждения лампового автогенератора необходимо обязательное выполнение баланса фаз и баланса амплитуд. Это означает, что в правильно рассчитанном и собранном генераторе случайно возникшее возмущение на управляющей сетке лампы после усиления и преобразования в схеме должно снова поступить по цепи обратной связи на ту же сетку, не ослабленным по амплитуде и с той же фазой. Выполнение условия баланса амплитуд сводится к тому, что ослабление сигнала при прохождении по цепям обратной связи компенсируется соответствующим усилением. Выполнение же условия баланса фаз говорит о том, что при прохождении сигнала (возбуждения) по цепям обратной связи его фаза должна быть повернута на 360°. В обычных генераторах с контурами LC оба указанных условия выполняются за счет соответствующего включения катушек обратной связи и выбора величины этой связи.

В RC-генераторе, одна из схем которого представлена на

рис. 25, цепь обратной связи состоит из нескольких последовательно включенных цепочек *RC*. Каждая из цепочек поворачивает фазу φ синусоидального напряжения на определенный угол, определяемый частотой сигнала и величинами *R* и *C*.

Можно сказать, что

$$\varphi = \operatorname{arc\,tg} \frac{1}{\omega CR},$$

где ω — угловая частота генерируемых колебаний.

Подбором числа цепочек (обычно выбирается три-четыре цепочки) и величин их элементов (*R* и *C*) добиваются того, чтобы сигнал нужной частоты в цепи обратной связи сдвигался по фазе на 180°,

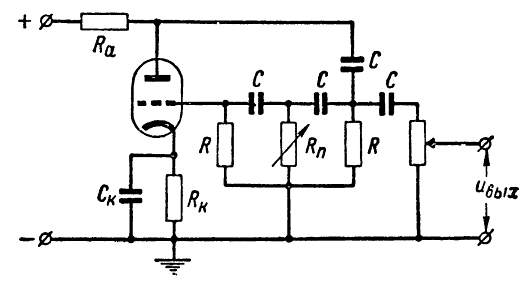


Рис. 25. Схема *RC*-генератора.

что в сумме со сдвигом фазы этого сигнала в лампе генератора (180°) составит требуемые 360°.

Для цепочек с одинаковыми по величине элементами *R* и *C* последнее условие выполняется при следующих соотношениях:

для трехзвенной цепочки $\omega = \frac{1}{\sqrt{6}RC}$,

для четырехзвенной цепочки $\omega = \frac{1}{\sqrt{\frac{10}{7}}RC}$

При прохождении сигнала по цепи обратной связи он будет ослабляться. Для выполнения условий баланса амплитуд необходимо это ослабление компенсировать соответствующим усилением сигнала. При трехзвенной цепи обратной связи (при одинаковых цепочках) требуемый коэффициент усиления каскада определяется следующим выражением:

$$k = 29 + 23\frac{R_0}{R} + 4\left(\frac{R_0}{R}\right)^2,$$

где $R_0 = \frac{R_i R}{R_i + R}$;

R_i — внутреннее сопротивление лампы генератора.

Если $R_0 \ll R$, то самовозбуждение осуществляется при $k=29$.

С помощью RC-генераторов могут быть получены поднесущие колебания наиболее низких частот (20—50 *гц*) без заметного увеличения габаритов самих генераторов. Перестройка RC-генератора с одной частоты на другую производится путем изменения величины одного или нескольких сопротивлений в цепи обратной связи (фазосдвигающего четырехполюсника). Подключив вместо сопротивления соответствующий датчик, можно осуществить частотную модуляцию колебаний генератора.

Вместо одного из сопротивлений фазосдвигающей цепочки возможно подключение внутреннего сопротивления лампы, величина которого, как известно, зависит главным образом от напряжения смещения между управляющей сеткой и катодом. В этом случае

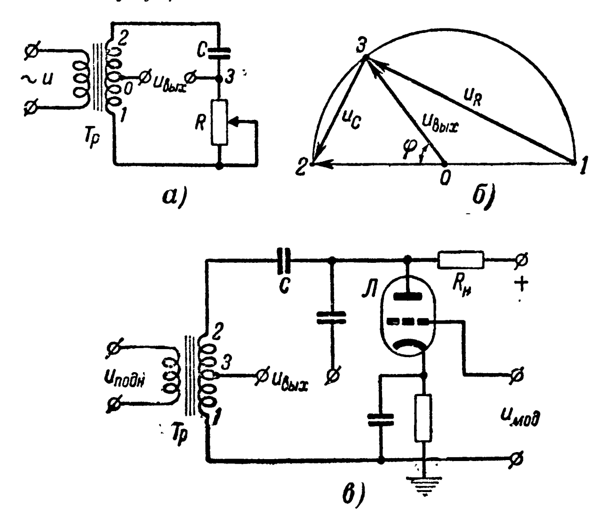


Рис. 26. Фазовая модуляция поднесущих колебаний.

перестройка генератора осуществляется изменением величины смещающего напряжения, которым может быть выходное напряжение датчика.

Фазовые модуляторы. В качестве фазовых модуляторов поднесущих колебаний используются различного рода фазовращатели. Наиболее широкое распространение получили фазовращатели на элементах R и C.

Одна из схем такого фазовращателя представлена на рис. 26,*а*. Вторичная обмотка трансформатора *Тр*, питаемого напряжением поднесущей частоты, нагружается цепочкой RC. Векторная диаграмма напряжений такой схемы приведена на рис. 26,*б*. С изменением величины сопротивления цепочки фазовращателя R изменяется соотношение величин напряжений u_C и u_R, падающих на конденсаторе C и сопротивлении R. При этом напряжение $u_{вых}$ между средней точкой трансформатора 0 и местом соединения элементов R и C (точка *3*) изменяет свою фазу по отношению к напряжению на зажимах вторичной обмотки трансформатора.

Зависимость поворота фазы φ напряжения $u_{вых}$ от изменения величины сопротивления R определяется соотношением

$$\varphi = \arcsin \frac{2r_c R}{r_c^2 + R^2},$$

где

$$r_c = \frac{1}{\omega C}.$$

Максимальная девиация фазы, получаемая с помощью такого фазовращателя, практически может достигать 150—160°. Дальнейшее увеличение девиации фазы (до 180°) приводит к существенному изменению амплитуды $u_{вых}$.

Вместо элементов фазовращательной цепочки R и C в схему может быть включен емкостный датчик или датчик сопротивления, с помощью которых будет преобразовываться передаваемая физическая величина и осуществляться фазовая модуляция поднесущего колебания.

Сопротивление R фазовращательной цепочки RC можно заменить внутренним сопротивлением электронной управляющей лампы $Л$ (рис. 26,в). В этом случае фазовая модуляция поднесущего колебания производится за счет модулирующего напряжения $u_{мод}$, подводимого от соответствующего датчика или командного прибора к сетке лампы $Л$.

18. ФИЛЬТРЫ НИЗКИХ ЧАСТОТ

Фильтры низких частот находят весьма широкое применение в демодуляторных устройствах радиотелемеханических систем. Классифицируются низкочастотные фильтры по виду частотной характеристики. В соответствии с этой классификацией различают несколько групп фильтров (рис. 27).

Фильтры нижних частот пропускают сигналы, частоты которых не превышают определенную, так называемую частоту среза $F_{ср}$ фильтра или граничную частоту. Коэффициент передачи фильтра $k_{отн}$ за частотой среза резко падает и, таким образом, все сигналы с частотами выше $F_{ср}$ фильтром подавляются.

Фильтры верхних частот пропускают сигналы, частоты которых выше частоты среза фильтра.

Полосовые фильтры пропускают сигналы, в некоторой полосе частот $\Delta F = F_{макс} - F_{мин}$.

Заградительные фильтры используются для подавления сигналов некоторой заданной полосы частот, ограничиваемой верхней $F_{ср.\,в}$ и нижней $F_{ср.\,н}$ частотами среза.

Основными элементами указанных видов фильтров являются LC и RC-цепочки, а также механические резонирующие устройства с соответствующими частотными характеристиками. На рис. 27 показаны схемы только LC-фильтров.

Последовательный контур имеет минимальное сопротивление на резонансной частоте

$$f_р = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

Параллельный контур на той же резонансной частоте имеет максимальное сопротивление.

Зависимость частоты среза фильтра нижних частот $F_{ср.н}$ и частоты среза фильтра верхних частот $F_{ср.в}$ от величины L и C определяется следующими соотношениями:

$$F_{ср\,н} = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}};$$

$$F_{ср.в} = \frac{1}{4\pi\sqrt{LC}}.$$

Наибольшее значение для радиотелемеханики имеют фильтры, работающие в звуковом диапазоне частот.

Существенными недостатками LC-фильтров для этого диапазона являются их громоздкость и недостаточная селективность.

В качестве полосовых фильтров часто применяются усилители, нагрузкой которых служат сложные резонансные системы или одиночные контуры. Повышение селективности таких усилителей осуществляется путем введения селективной положительной обратной связи, за счет которой частично компенсируются имеющиеся в колебательной системе (контуре) потери. Известно, что с возрастанием величины положительной обратной связи улучшается селективность резонансного усилителя. Однако при этом происходит ухудшение стабильности его работы. Введение в усилительный каскад наряду с селективной положительной обратной связью отрицательной обратной связи, равномерной по диапазону усиливаемых частот, приводит к пропорциональному снижению коэффициента усиления и повышению стабильности работы усилителя. Эффективная селективность, полученная за счет введения положительной обратной связи, остается при этом неизменной.

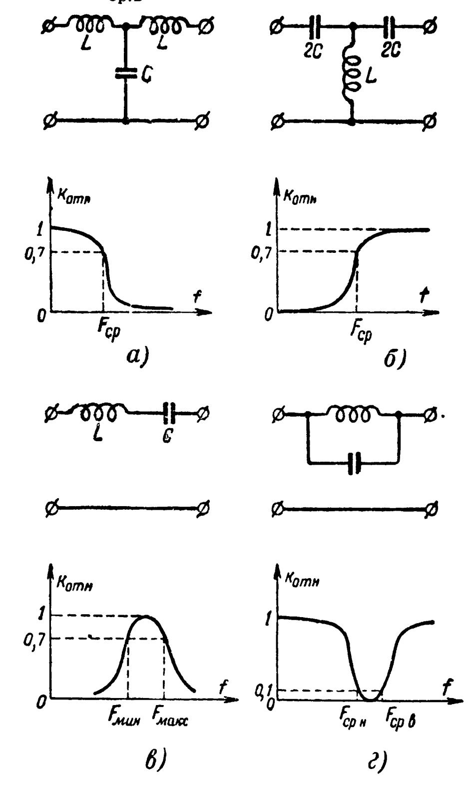


Рис 27. Фильтры низких частот.
а — фильтр нижних частот; *б* — фильтр верхних частот; *в* — полосовой фильтр; *г* — заградительный фильтр.

На рис. 28 представлена упрощенная схема резонансного усилителя повышенной селективности с комбинированной обратной связью. Положительная обратная связь создается за счет катушки $L_а$, индуктивно связанной с колебательным контуром $L_кC_к$. По-

скольку в цепь обратной связи (с анода на сетку лампы $Л_2$) входит селективный элемент (колебательный контур), положительная обратная связь также селективная, т. е. ее величина зависит от частоты. Отрицательная обратная связь образуется за счет включения в катодную цепь лампы $Л$ не шунтируемого емкостью сопротивления $R_к$.

Практика эксплуатации таких усилителей показывает, что их селективность может быть повышена в несколько сотен раз по сравнению с селективностью контура, используемого в схеме обычного усилителя. За счет введения только одной положительной селективной связи удается повысить селективность резонансного усили-

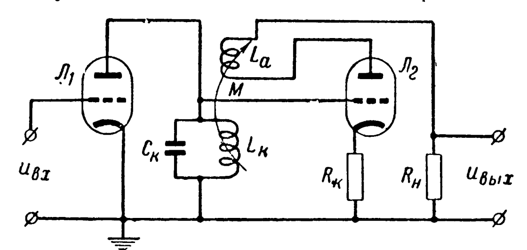


Рис. 28. Упрощенная схема резонансного усилителя повышенной селективности

теля лишь в несколько десятков раз. Дальнейшее повышение приводит к самовозбуждению усилителя.

Цепочки RC обладают коэффициентом передачи, зависящим от частоты приходящего сигнала. Поэтому они могут быть использованы в качестве простейших частотных фильтров. Однако селективные свойства простейших RC-цепочек в ряде случаев не удовлетворяют необходимым требованиям при разделении сигналов. Поэтому применяются более сложные схемы фильтров, состоящие из простейших RC-цепочек. В схемах сложных фильтров на RC используются электронные лампы. Подобные фильтры обладают высокими селективными свойствами.

В настоящее время широкое применение находят фильтры с двухзвенными Т-образными цепочками. Одна из схем такого фильтра и его частотная характеристика приведены на рис. 29. Этот фильтр может использоваться в качестве заградительного.

Если предположить, что $C_1=C_2=C$, а $R_1=R_2=R$ (рис. 29,*а*), то коэффициент передачи фильтра будет равен нулю на частоте, определяемой следующим выражением:

$$F_0=\frac{1}{2\pi RC}\sqrt{\frac{2C}{C_3}}.$$

Наиболее острая кривая, описывающая частотную характеристику, получается при выполнении следующего соотношения между величинами элементов фильтра:

$$a=\frac{R}{R_3}=\frac{4C}{C_3}=2.$$

Если Т-образный фильтр включить в цепь отрицательной обратной связи усилителя низкой частоты (рис. 30,*а*), то последний становится селективным и может быть использован в качестве полосового фильтра. Частотная характеристика такого усилителя изображена на рис. 30,*б*.

Принцип работы усилителя с Т-образным фильтром в цепи отрицательной обратной связи состоит в том, что на частоте F_0

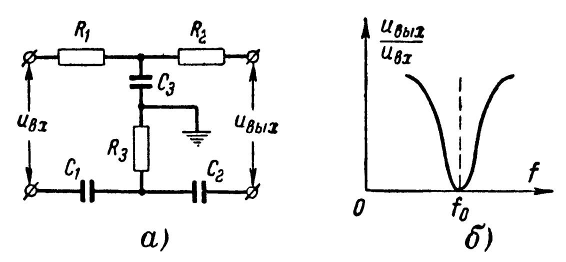


Рис. 29. Селективный Т-образный *RC*-фильтр.

коэффициент передачи цепи отрицательной обратной связи равен нулю и, следовательно, усиление каскада достигает максимума. Для всех других частот имеется отрицательная связь, увеличивающаяся по мере роста отклонения частоты усиливаемого сигнала в одну или другую сторону от частоты F_0.

Т-образные фильтры обладают высокой селективностью при условии, что схема, в которую они включаются, их не шунтирует.

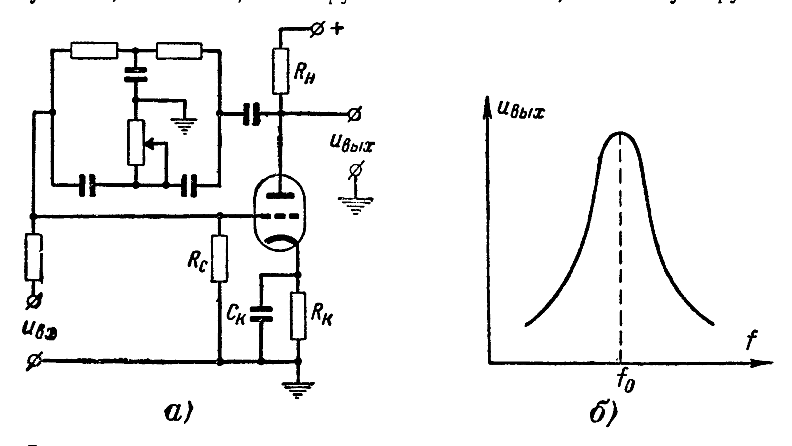


Рис. 30. Селективный усилитель низкой частоты с Т-образным мостом в цепи обратной связи.

Практически существенного уменьшения шунтирующего действия можно достичь путем значительного усложнения схемы, в которую включается Т-образный фильтр. В обычных же схемах, подобных приведенной на рис. 30,*а*, эквивалентное качество фильтра, определяемое отношением резонансной частоты F_0 к полосе пропускания

ΔF, не удается получить более 10—15. В специальных схемах селективных устройств с Т-образным фильтром эквивалентное качество может составлять 1 000 и более.

В качестве частотных разделительных фильтров в радиотелемеханических системах находят применение механические резонансные устройства, колебательный процесс в которых обусловливается взаимодействием сил упругости и сил инерции. На рис. 31 представлены два типа таких устройств: камертонное (рис. 31,*а*) и струнное (рис. 31,*б*) реле.

Если через обмотку электромагнита камертонного реле пропустить переменный ток, частота которого совпадает с собственной

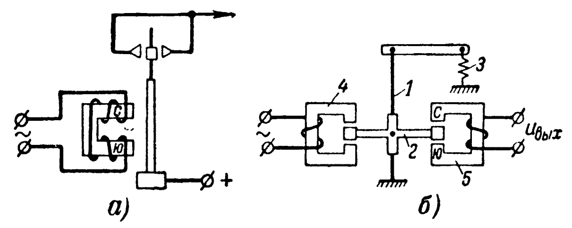


Рис. 31. Механические резонансные фильтры.

резонансной частотой камертона $F_р$, то камертон начнет колебаться со сравнительно большой амплитудой, замыкая при этом контактами исполнительную цепь.

Струнное реле является бесконтактным механическим резонансным реле. Резонансная частота этого реле определяется упругостью струны *1* и массой якоря *2*, прикрепленного к ней.

С помощью пружины *3* упругость струны может изменяться, следовательно, будет меняться и резонансная частота реле. Если частота тока в обмотке электромагнита *4* совпадает с резонансной частотой струнного вибратора, то последний начнет колебаться. Перемещение якоря в поле постоянного магнита *5* вызывает изменение магнитного потока, а следовательно, и появление переменного напряжения в выходной обмотке реле.

Камертонные и струнные резонансные реле в сравнении с обычными частотными *LC*-фильтрами имеют значительно более узкую полосу пропускания.

19. КОММУТИРУЮЩИЕ И РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Коммутирующие устройства применяются в импульсных многоканальных радиолиниях с временным разделением каналов для поочередного подключения отдельных источников передаваемых сообщений к радиолинии на передающей стороне и распределения принятых сигналов по соответствующим каналам (потребителям сигналов) на приемной стороне. Применяются механические, электронные и электронно-лучевые коммутаторы.

Механические коммутаторы. Такой коммутатор (рис. 32) состоит из неподвижных пластин $П_1$, $П_2$, ..., $П_n$, количество которых равно числу каналов в радиолинии, и вращающегося контакта (скользящей щетки) *Щ*. При замыкании щетки с неподвижными пластинами напряжения передаваемых сигналов от отдельных

источников u_1, u_2, ..., u_n подаются на первичный модулятор. С целью предотвращения замыкания соседних пластин при движении щетки расстояние между ними выбирается несколько бо́льшим ширины щетки.

Механические коммутирующие устройства просты по своей конструкции. Их использование существенно упрощает структуру радиолинии. Вместе с тем они имеют ряд существенных недостатков. Основными из них являются: большая инерционность, не позволяющая применять эти коммутаторы в многоканальных радиолиниях для передачи быстро изменяющихся сигналов, искрение контактов при переключении, искажающие передаваемые сообщения, и, наконец, трудность синхронизации механического коммутатора на приемной стороне с передающим коммутатором. В связи с этим в многоканальных радиолиниях с временны́м методом разделения каналов механические коммутаторы применяются, как правило, только на передающей стороне. Для распределения сигналов по каналам в приемной установке в большинстве случаев используются электронные распределительные устройства.

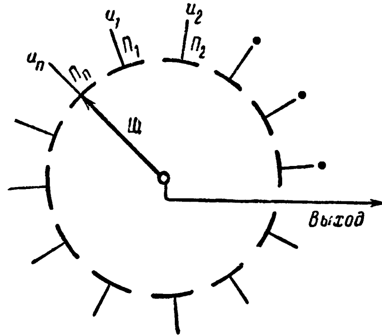


Рис. 32. Схема механического коммутатора.

Электронные коммутаторы. В качестве электронных переключателей используются устройства с электронными лампами, полупроводниковыми приборами, ферритами и другими нелинейными элементами современной электроники. В многоканальных радиолиниях до последнего времени наиболее широкое применение находили коммутаторы с электронными лампами. Основными элементами схем коммутаторов с электронными лампами являются ждущие мультивибраторы, за счет которых производится бесконтактное переключение электрических цепей и генераторов запускающих (тактовых) импульсов.

Известны две схемы построения электронных коммутаторов: схемы параллельного и последовательного переключения каналов.

При последовательном переключении начало работы каждого последующего канала определяется сигналами предыдущего канала. На рис. 33,*а* приведена для иллюстрации схема построения коммутатора с последовательным переключением каналов.

Генератор тактовых импульсов ГТИ вырабатывает импульсы, период следования которых $T_ц$ определяется продолжительностью цикла передачи (рис. 34,*а*). В цикле передачи каждому каналу при временно́м распределении отводится свой временно́й интервал $T_{кi}$ ($i=1$, 2,..., n). Обычно $T_{к1}=T_{к2}=T_{кi}=T_к$.

Параметры ждущих мультивибраторов коммутатора M_2, M_3 и т. д. выбираются так, что генерируемые ими импульсы имеют длительности, равные $T_к$. Длительность τ_1 импульса мультивибратора M_1 составляет $T_к/2$ (рис. 34,*б*). После дифференцирования сигнала M_1 дифференцирующей цепью $ДЦ_1$ образуются положительный

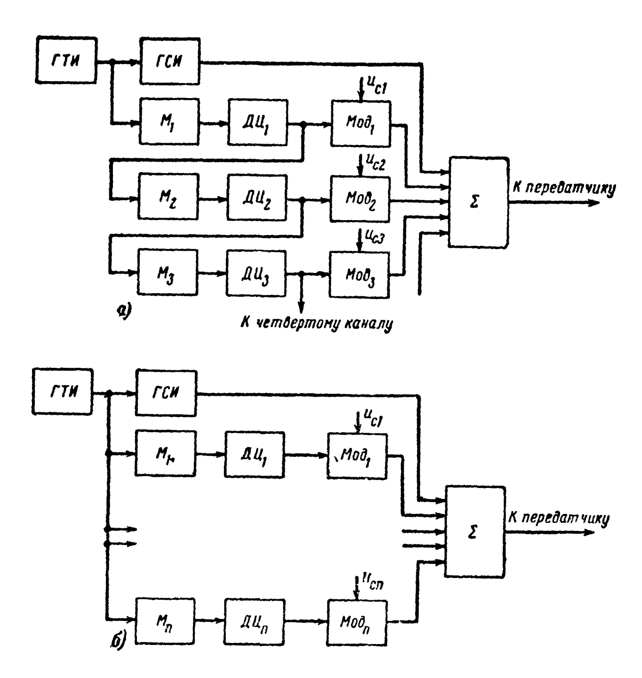


Рис. 33. Функциональные схемы электронных коммутаторов.

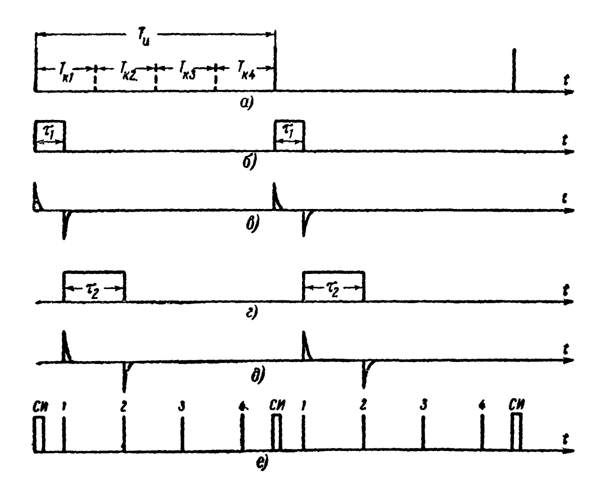


Рис. 34. Временные диаграммы напряжений в цепях электронного коммутатора.

и отрицательный импульсы (рис. 34,*в*), соответствующие по положению переднему и заднему фронтам импульса M_1. Отрицательный импульс используется для формирования рабочего импульса первого канала и для запуска мультивибратора M_2.

Импульсы мультивибратора M_2, показанные на рис. 34,*г*, также дифференцируются. Отрицательный импульс (рис. 34,*д*), полученный после дифференцирования импульса, показанного на рис. 34,*г*, служит для формирования рабочего импульса второго канала и запуска мультивибратора M_3.

Аналогично получаются рабочие и коммутирующие импульсы других каналов. После срабатывания мультивибратора M_n снова запускается мультивибратор M_1 под действием очередного тактового импульса и начинается новый цикл передачи.

Рабочие импульсы каналов поступают в свои модуляторные устройства $Мод_1$, $Мод_2$ и др., где осуществляется первичная модуляция сигналами u_{c1}, u_{c2}, u_{c3} и т. д., передаваемыми по каналам. С сумматора $\sum$ промодулированные импульсы всех каналов вместе с синхроимпульсами, вырабатываемыми генератором синхроимпульсов *СИ* (рис. 34,*е*), подаются в передатчик для модуляции его высокочастотных колебаний.

Достоинством схемы последовательного переключения является идентичность ее элементов для всех каналов, что облегчает условия регулировки коммутирующих устройств. Существенный недостаток этого коммутатора состоит в том, что при выходе из строя одного из мультивибраторов прекращается работа всех последующих каналов радиолинии.

При параллельном переключении каналов этот недостаток отсутствует. Функциональная схема коммутатора с параллельным переключением каналов приведена на рис. 33,*б*. Под действием импульсов тактовой частоты одновременно срабатывают все мультивибраторы M_1 — M_n. Параметры мультивибраторов подбираются такими, чтобы генерируемые ими импульсы имели соответствующие длительности. Так, например, длительность импульса первого мультивибратора M_1 должна быть равной половине временнóго интервала первого канала, т. е. $\tau_1 = \frac{T_{к1}}{2}$, длительность импульсов мультивибратора M_2 должна составлять $\tau_2 = T_{к1} + \frac{T_{к2}}{2}$, мультивибратора M_3 она должна быть $\tau_3 = T_{к1} + T_{к2} + \frac{T_{к3}}{2}$ и т. д.

Формирование и модуляция рабочих импульсов каналов при параллельном переключении не отличаются от аналогичных операций при последовательном переключении. Параметры отдельных мультивибраторов электронного коммутатора при параллельном переключении каналов различны. В связи с этим и погрешности, вносимые в работу каналов этими мультивибраторами за счет различного рода нестабильностей, также будут разными. Погрешность, вносимая в передаваемый сигнал, будет больше в том канале, в котором коммутирующий мультивибратор будет генерировать импульс большей длительности.

Электронно-лучевые коммутаторы. Ламповые коммутирующие устройства получаются весьма сложными и громоздкими. Поэтому в ряде случаев находят применение электронно-лучевые коммутаторы, в которых используются специальные электронно-лучевые трубки. Использование таких трубок значительно упрощает аппаратуру передающей и приемной сторон радиолиний, в особенности при большом числе каналов.

На рис. 35 изображен один из электронно-лучевых коммутаторов. Электронная пушка и система отклоняющих пластин этого коммутатора являются общими для всех электронно-лучевых электростатических трубок. Специальными электродами коммутатора являются система из *n* отклоняющих пластин *ОП*, расположен-

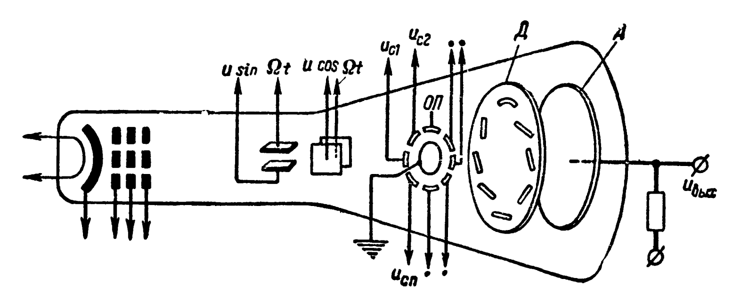


Рис. 35. Электронно-лучевой коммутатор.

ных вокруг центрального электрода, металлический диск *Д* с прорезями, сделанными под некоторым углом к радиусу, и сплошной анод *А*.

За счет двух пар пластин, отклоняющих луч во взаимно-перпендикулярных направлениях, и синусоидального напряжения, подводимого к каждой такой паре со сдвигом на 90°, образуется вращающееся электрическое поле, под действием которого электронный луч вращается по окружности в середине зазора между центральным электродом и отклоняющими пластинами. Период вращения луча равен времени цикла передачи

При подаче модулирующих напряжений u_{c1}, u_{c2} и т. д. на отклоняющие пластины *ОП* луч будет отклоняться в ту или другую сторону от центрального электрода. Вследствие этого моменты прохождения электронным лучом прорезей в металлическом диске будут также зависеть от мгновенных значений модулирующих напряжений, что приводит к фазово-импульсной модуляции импульсов, образующихся на аноде *А*. Одна из прорезей диска *Д* делается обычно более широкой, чем все другие. В момент прохождения по ней луча на сплошном аноде трубки образуется широкий импульс синхронизации.

Описанные выше коммутирующие устройства многоканальных радиолиний с временны́м методом разделения каналов используются на передающей стороне радиолинии. Распределение сигналов по каналам на приемной стороне осуществляется распределителями. Сущность их работы заключается в поочередном отпирании каналь-

ных трактов на время, отводимое каждому каналу в цикле передачи.

Наиболее простыми распределительные устройства получаются при использовании так называемых каскадов совпадений, управляемых опорными импульсами, вырабатываемыми схемой распределения. Схема распределения при этом запускается синхронизирующими импульсами, выделенными из общей последовательности принятых сигналов всех каналов.

На рис. 36 приведена упрощенная функциональная схема электронного распределительного устройства приемной части радиолинии. Она включает в себя канальные каскады совпадений, генера

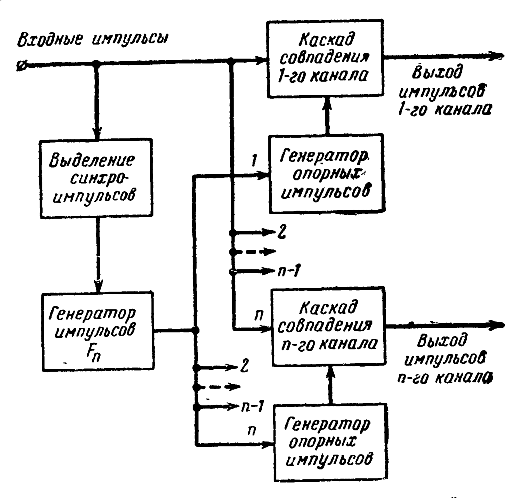


Рис. 36. Электронное распределительное устройство приемной части радиолинии.

торы опорных импульсов, отпирающих каскады совпадения, выделитель синхроимпульсов и генератор импульсов.

С выхода приемника импульсы принятой последовательности подаются на параллельно включенные входы каскадов совпадений всех каналов и на устройство, выделяющее синхронизирующие импульсы, которые далее поступают в схему распределения. В состав схемы распределения входят генератор запускающих импульсов, синхронизируемый выделенными импульсами синхронизации, и канальные генераторы опорных напряжений. Последние представляют собой устройства, вырабатывающие импульсы, длительность которых равна канальному интервалу времени, а их положение относительно синхронизирующего импульса соответствует расположению канального интервала в цикле передачи.

Таким образом, на один вход каскада совпадений подаются импульсы принятой последовательности, а на другой — опорный канальный импульс. Последний прикладывается ко второму входу схемы совпадения в момент прихода импульса рассматриваемого канала. При одновременном действии указанных импульсов на вы-

ходе схемы совпадения появляется импульс, который поступает далее в демодулирующий каскад этого же канала.

Общим недостатком схемных методов распределения является зависимость стабильности работы системы распределения каналов от параметров схем, деталей, ламп и питающих напряжений.

20. КОДИРУЮЩИЕ И ДЕКОДИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Временно́й импульсный код представляет собой последовательность нескольких импульсов, расположенных определенным образом друг относительно друга во времени. Коды различаются между собой временны́ми интервалами и числом импульсов в кодовой группе.

Формирование любого временно́го кода производится следующим образом Импульс (рис. 37,*а*), подлежащий преобразованию

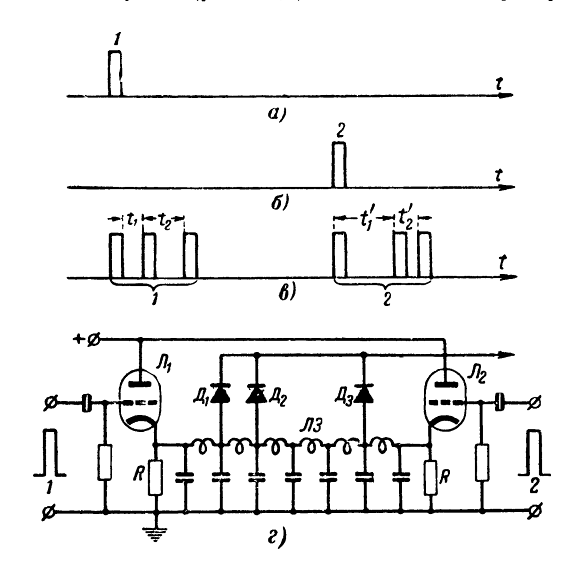


Рис. 37. Формирование временных кодов.

в трехимпульсный временно́й код, через катодный повторитель на лампе $Л_1$ (рис. 37,*г*) поступает на линию задержки *ЛЗ*. В разные точки линии задержки импульс приходит в разные моменты времени. С отводов, подключенных к заранее выбранным точкам *ЛЗ*, импульсы подаются в суммирующее устройство. На выходе суммирующего устройства, включающего диоды $Д_1$, $Д_2$ и $Д_3$, образуется группа импульсов, отстоящих друг от друга на временны́е интервалы t_1 и t_2 (рис. 37,*в*).

Образование кодовой группы другого канала производится аналогичным образом. При этом на выходе суммирующей схемы образуется группа импульсов с временны́ми интервалами t_1' и t_2'

между ними. Интервалы t_1' и t_2' не равны соответствующим интервалам t_1 и t_2, чем отличается второй трехимпульсный код от первого трехимпульсного кода. Таким же образом можно получить коды третьего, четвертого и так далее каналов.

С выхода суммирующего устройства задержанные импульсы поступают на запуск формирующего каскада, роль которого может выполнять заторможенный блокинг-генератор. Формирующий каскад нормализует импульсы (выравнивает их по амплитуде и длительности).

На выходе формирующего блокинг-генератора выделяются кодовые группы нормализованных по амплитуде, длительности и фор-

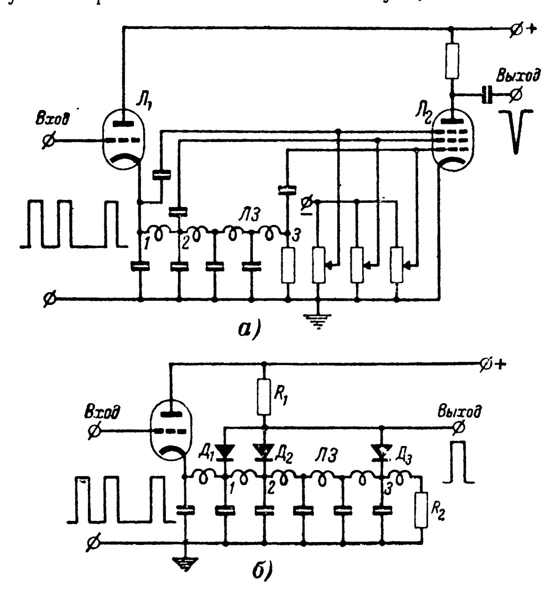


Рис. 38. Декодирование временных кодов.

ме импульсы, которые далее подаются в суммирующее устройство всех каналов и затем в передатчик для модуляции его высокочастотных колебаний. Рассмотренный принцип кодообразования можно применить не только для получения трехимпульсных кодов, но и кодов с любым количеством импульсов.

Декодирующее устройство в общем случае составит из катодного повторителя, нагруженного линией задержки *ЛЗ*, и схемы совпадения. Принятая последовательность кодовых групп импульсов с выхода приемника поступает на вход катодного повторителя декодирующего устройства (рис. 38).

С разных точек линии задержки (точки *1*, *2*, *3* на рис. 38) сделаны отводы на схему совпадений. При декодировании трехимпульсного кода временные отрезки, на которые запаздывают импульсы, проходя между отводами *1*, *2* и *2*, *3* линии задержки, рав-

ны интервалам t_2 и t_1 (рис. 39). В результате оказывается, что моменты появления третьего импульса кодовой группы в первой входной цепи (отвод от точки *1*), второго импульса во второй входной цепи (отвод от точки *2*) и первого импульса в третьей входной цепи (отвод от точки *3*) совпадают (рис. 39), т. е. приходят на входы схемы совпадения одновременно. За счет этого на сопротивлении R_1 (рис. 38,*б*) или на выходе лампы $Л_2$ (рис. 38,*а*) возникает импульс.

Другие коды не пройдут через это декодирующее устройство вследствие различия временных интервалов t_1 и t_2. На этом и основано кодовое разделение каналов в многоканальных радиолиниях.

Важным элементом устройства, предназначенного для декодирования временных кодов, является схема совпадения. На схему

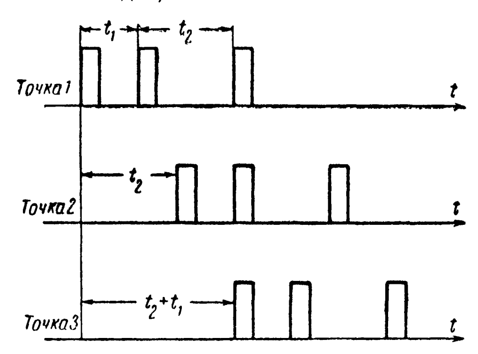


Рис. 39. Временные диаграммы напряжений в цепях декодирующего устройства.

совпадений поступают импульсы с нескольких точек линии задержки. Число входов схемы совпадения равно количеству импульсов в кодовой группе.

В качестве устройства совпадения может использоваться многосеточная лампа, режим которой подобран так, что она открывается только при одновременном воздействии импульсов напряжения на все ее сетки. В момент открытия лампы совпадения на ее выходе образуется отрицательный импульс, длительность которого будет равна времени совпадения импульсов на входах лампы.

Ламповые схемы совпадений не позволяют простым способом декодировать многоимпульсные коды (более трех), что является их существенным недостатком. Кроме того, для нормальной работы ламповой схемы совпадений требуется высокая стабильность режима питания, в особенности выдерживания установленных смещающих напряжений. В настоящее время для декодирования временных кодов все более широко применяются устройства, использующие полупроводниковые диоды (рис. 38,*б*).

Для обеспечения нормальной работы декодирующего устройства должно выполняться следующее условие:

$$R_1 \gg R_2 \gg R_д,$$

где $R_д$ — внутреннее сопротивление диода в прямом направлении. В соответствии с этим условием при отсутствии импульсов на входе катодного повторителя напряжение на выходе декодирующей схемы будет очень малым (постоянное напряжение) и им можно пренебречь.

Напряжение на выходе схемы появится в момент одновременного запирания диодов $Д_1$, $Д_2$ и $Д_3$. Это произойдет в том случае, когда на вход схемы поступит кодовая группа положительных импульсов и они, распространяясь вдоль линии задержки, появятся одновременно на тех отводах, к которым подключены диоды. Отсутствие или несовпадение хотя бы одного импульса на одном из отводов линии задержки приведет к тому, что выходной импульс не появится, так как хотя бы один незапертый диод шунтирует выход. Амплитуда выходного импульса равна амплитуде наименьшего импульса поступившей кодовой группы.

Для декодирования нескольких кодов число схем совпадений должно быть равно числу кодов, но при этом требуются только один катодный повторитель и одна линия задержки.

21. ИМПУЛЬСНЫЕ МОДУЛЯТОРЫ ШИФРАТОРОВ

В шифраторах импульсных многоканальных радиолиний применяется АИМ, ШИМ, ФИМ и КИМ.

При амплитудно-импульсной модуляции (АИМ), как известно, происходит изменение амплитуды импульсов в соответствии с модулирующим напряжением. Для осуществления АИМ используется большое число разнообразных устройств. На рис. 40 приведена

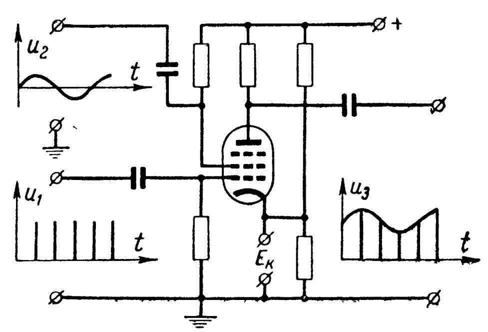


Рис. 40. Схема формирования импульсов, модулированных по амплитуде.

схема одного из них. Здесь лампа нормально заперта. Отпирание ее производится импульсами u_1. Модулирующее напряжение u_2 подается на пентодную сетку лампы. С анода лампы снимаются модулированные видеоимпульсы.

При широтно-импульсной модуляции (ШИМ) под воздействием модулирующего сигнала изменяется длительность импульсов при постоянной их амплитуде и периоде повторения. Различают одностороннюю и двустороннюю ШИМ.

При односторонней модуляции длительность импульса изменяется за счет перемещения одного из его фронтов (заднего или переднего), а при двусторонней модуляции под действием модулирующего сигнала перемещаются по оси времени друг относительно друга оба фронта импульса. Наибольшее применение находит односторонняя ШИМ.

Для получения ШИМ обычно применяются ждущие мультивибраторы и фантастроны. На рис. 41 представлена одна из схем, обеспечивающая получение ШИМ. Модулирующее напряжение $u_{мод}$ подается здесь на управляющую сетку лампы $Л_1$. Запуск

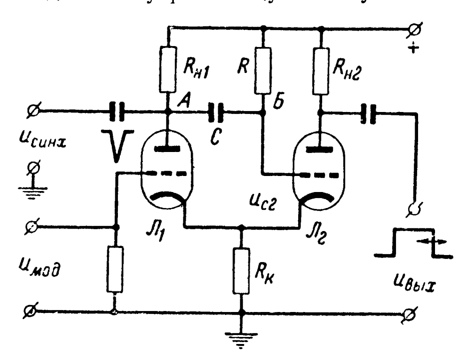


Рис. 41. Схема формирования импульсов, модулированных по ширине.

мультивибратора производится кратковременными импульсами $u_{синхр}$, поступающими от задающего генератора.

В исходном положении лампа $Л_2$ открыта. За счет анодного тока этой лампы на сопротивлении $R_к$, включенном в цепь катодов ламп $Л_1$ и $Л_2$, образуется напряжение, запирающее лампу $Л_1$. При подаче отрицательного импульса на анод лампы $Л_1$ происходит «опрокидывание» мультивибратора, при этом закрывается лампа $Л_2$ и открывается лампа $Л_1$, потенциал точки A резко падает, конденсатор C, заряженный до анодного напряжения (при закрытой лампе $Л_1$), начинает разряжаться.

По мере разряда конденсатора C уменьшаются ток разряда и падение напряжения на сопротивлении R, что приводит к уменьшению напряжения $u_{с2}$, запирающего лампу $Л_2$. В момент, когда запирающее напряжение $u_{с2}$ станет равным напряжению отсечки, происходит обратное «опрокидывание» мультивибратора. При этом лампа $Л_1$ закрывается, а лампа $Л_2$ открывается.

Можно показать, что продолжительность закрытого состояния лампы $Л_2$, а вместе с этим и длительность положительного импульса, снимаемого с ее анодной нагрузки $R_{н2}$, зависит от напряжения, подводимого к сетке лампы $Л_1$.

Фазово-импульсную модуляцию (ФИМ) называют часто временно́й импульсной модуляцией. Сущность этого вида модуляции состоит в том, что меняется временно́е положение импульсов относительно тактовых точек (относительно импульсов в последовательности без модуляции) в соответствии с изменением модули-

рующего напряжения. При этом длительность и амплитуда импульсов остаются неизменными.

Для того чтобы можно было измерить временное смещение импульсов за счет сообщения на приемной стороне, передаются еще синхронизирующие импульсы, положение которых относительно тактовых точек при модуляции не изменяется.

Известно много схем практической реализации ФИМ. Если последовательность импульсов формируется из синусоидального напряжения, то в качестве модуляторов используются различного рода фазовращатели, которые при этом могут объединять в себе

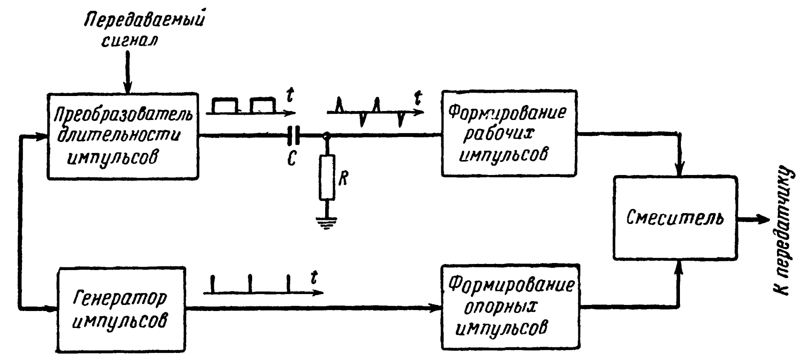


Рис. 42. Схема формирования импульсов, модулированных по фазе.

и функции датчиков, преобразующих, например, механические перемещения.

Чаще в схемах, предназначенных для осуществления ФИМ, используются импульсы, предварительно промодулированные по ширине. На выходе устройства, вырабатывающего импульсы, модулированные передаваемым сигналом по длительности (рис. 42), включается дифференцирующая цепочка RC. Выделяемые на сопротивлении R дифференцирующей цепочки импульсы будут биполярными. Для дальнейшего преобразования используются только отрицательные импульсы, которые оказываются промодулированными по положению (фазе). После нормализации формы и амплитуды в формирующем каскаде образуется последовательность рабочих импульсов.

Опорные импульсы вырабатываются из импульсов, поступающих от задающего импульсного генератора. В смесительном каскаде происходит сложение последовательностей рабочих и опорных импульсов.

Мощность излучаемых передатчиком колебаний при ФИМ в отличие от АИМ и ШИМ не зависит от передаваемого сигнала, так как она определяется постоянными величинами длительностей, амплитуд и частоты следования импульсов. Указанные параметры в процессе передачи остаются постоянными.

Фазово-импульсная модуляция наиболее выгодна по сравнению с АИМ и ШИМ для многоканальных радиолиний. Она позволяет

применить ряд мер, повышающих помехоустойчивость работы радиолинии.

При кодово-импульсной модуляции (КИМ) изменяющиеся значения модулирующего сигнала преобразуются в кодовые группы одинаковых по амплитуде, форме и длительности импульсов, которые затем передаются на приемную сторону. Поскольку все текущие значения модулирующего напряжения таким методом передать нельзя, так как потребовалось бы бесчисленное множество кодовых групп, то передаются лишь некоторые его дискретные значения (рис. 43,*а*). Чем выше должна быть точность передачи, тем

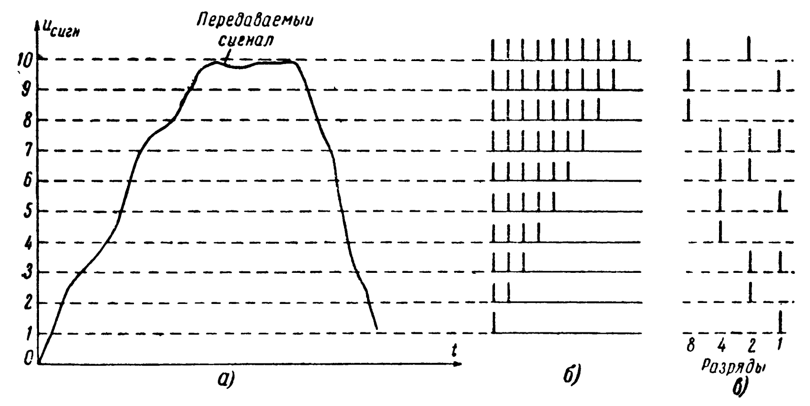


Рис. 43. Кодово-импульсная модуляция.

на большее число уровней *n* разбивается диапазон изменения значений передаваемого сигнала.

Каждому такому уровню присваивается вполне определенная кодовая группа импульсов. Используемые при этом кодовые комбинации импульсов могут быть самыми различными. Так, например, некоторый уровень сигнала может передаваться импульсами, число которых равно порядковому номеру передаваемого уровня (рис. 43,*б*).

С целью уменьшения числа импульсов в кодовых группах широко применяется так называемый двоичный (бинарный) код, каждый импульс которого, находясь на отведенной ему временной позиции, характеризует разряд числа в двоичной системе счисления. Первая позиция справа (или слева) на рис. 43,*в* соответствует разряду единиц, вторая — разряду двоек, третья — разряду четверок, четвертая — разряду восьмерок и т. д. Отсутствие импульса на данной позиции соответствует ее нулевому значению. Сумма чисел отдельных временных позиций, занимаемых импульсами кодовой группы, характеризует порядковый номер передаваемого уровня сигнала (рис. 43,*а*).

Для осуществления КИМ используются разнообразные, сравнительно сложные ламповые схемы. Применяются также специальные электронно-лучевые трубки с перфорированными экранами.

На рис. 44 представлена схема образования бинарного кода и

временного кода ключа. Ключ служит для обозначения начала отсчета времени при декодировании бинарных кодов.

Схема образования кодов состоит из блокинг-генератора с лампой *Л*, линии задержки и диодов $Д_1$—$Д_8$. При замыкании пускового контакта *ПК* заторможенный блокинг-генератор срабатывает. Выходной импульс с лампы *Л* подается на линию задержки и, распространяясь вдоль нее, проходит поочередно через все диоды. Через диоды $Д_1$—$Д_3$ импульсы поступают на выход схемы, образуя трехимпульсный код ключа. Если кодонаборные контакты замкнуты, то импульсы с отводов линии задержки через диоды

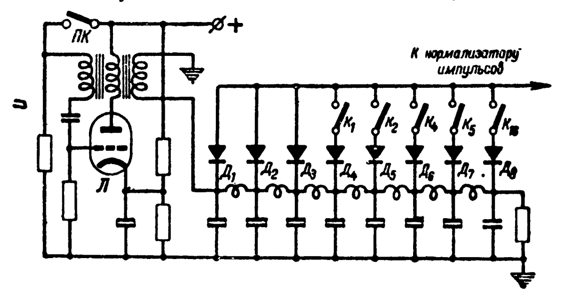


Рис. 44. Схема осуществления КИМ.

$Д_4$—$Д_8$ проходят на выход схемы. В зависимости от того, какие из кодонаборных контактов $К_1$, $К_2$, $К_4$, $К_5$ и $К_6$ замкнуты, образуется соответствующая кодовая комбинация.

Кодонаборные контакты могут замыкаться и размыкаться с помощью разнообразных устройств (кулачковых механизмов, профилированных барабанов и т. п.), переключаемых в соответствии с величиной передаваемого сигнала (команды). В модуляторах телеметрических систем набор и формирование бинарных кодовых групп осуществляются автоматическими электронными устройствами.

22. ДЕМОДУЛЯТОРНЫЕ УСТРОЙСТВА

Демодуляторные устройства многоканальных радиолиний служат для выделения передаваемых сообщений из модулированных непрерывных или импульсных поднесущих колебаний.

В системах с первичной амплитудной модуляцией для демодуляции применяются амплитудные детекторы. На рис. 45 показаны три схемы амплитудных детекторов. Простейший детектор

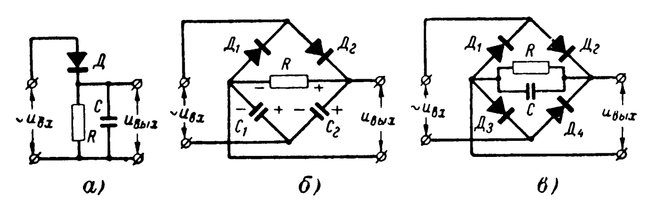


Рис. 45. Амплитудные детекторы.

(рис. 45,*а*) осуществляет однополупериодное выпрямление синусоидальных колебаний. При соответствующем подборе величин R и C эта схема может использоваться в качестве пикового детектора.

Второй тип амплитудного детектора (рис. 45,*б*) обеспечивает двухполупериодное выпрямление. В течение одного полупериода ток проходит через диод $Д_1$ и заряжает конденсатор C_1 до напряжения $u_{вх}$. Во время следующего полупериода заряжается конденсатор C_2. При работе выпрямителя в режиме пикового детектора с нагрузочного сопротивления R снимается суммарное напряжение $u_{вых}=2u_{вх}$. Разряд конденсаторов происходит через сопротивление R.

Наиболее часто в качестве амплитудного детектора используется двухполупериодное выпрямительное устройство, собранное по мостовой схеме (рис. 45,*в*). Здесь в течение одного полупериода ток протекает через диод $Д_2$, сопротивление нагрузки R и диод $Д_3$, а во время действия следующего полупериода — через диод $Д_4$, нагрузочное сопротивление R и диод $Д_1$. Выходное напряжение $u_{вых}$ снимается с диагонали моста (сопротивление R). Емкость C в схеме выпрямителя является фильтрующей. Мостовое детекторное устройство имеет низкоомный выход.

Для выделения передаваемого сигнала на приемной стороне в радиолиниях с частотной модуляцией поднесущих колебаний применяются частотные детекторы. Обычно демодуляция частотно-модулированных колебаний в частотном детекторе осуществляется в два этапа. Вначале колебания преобразуются в сигналы, модулированные по амплитуде, а затем производится амплитудное детектирование.

Простейшим частотным детектором может быть расстроенный резонансный усилитель с лампой $Л_1$, нагруженный амплитудным детектором (рис. 46,*а*). Контур усилителя настраивается так, чтобы средняя частота F_0 частотно-модулированного колебания попадала на склон резонансной характеристики (рис. 46,*б*). В этом случае при изменении частоты сигнала, проводимого к усилителю, на контуре будет выделяться сигнал с изменяющейся амплитудой. Амплитудное детектирование преобразованного таким образом напряжения производится диодом $Л_2$.

В рассмотренной схеме частотного детектора отсутствует нулевой уровень, необходимый при передаче знакопеременных команд. Выходные сигналы, полярность и величина которых изменяются в зависимости от частоты принятого поднесущего колебания, могут выделяться с помощью частотных дискриминаторов. Одна из схем такого дискриминатора представлена на рис. 47,*а*. Этот дискриминатор представляет собой двухтактную схему детектора, в плечах которого включены колебательные контуры, расстроенные в разные стороны относительно средней частоты модулированных колебаний. Частотная характеристика двухконтурного устройства изображена на рис. 47,*в*. Выходное напряжение дискриминатора будет почти линейно изменяться от частоты входного сигнала. С переменой знака отклонения частоты входного сигнала от ее среднего значения меняется полярность выходного напряжения.

Контуры дискриминатора обладают значительной нестабильностью и при работе на низких частотах имеют большие габариты и вес. Поэтому дискриминаторы с контурами LC не всегда пригодны. В последнее время находят все более широкое применение

дискриминаторы, в которых используются частотно-зависимые свойства цепочек *RC*. В схемах таких дискриминаторов используются усилители с отрицательной обратной связью в виде двойного Т-образного моста. Как уже указывалось выше, подобные усилители обладают селективными свойствами.

На рис. 47,*б* приведена схема дискриминатора, в которую входят два резонансных усилителя с двойными Т-образными мостами *RC* в качестве элементов селективной отрицательной обратной

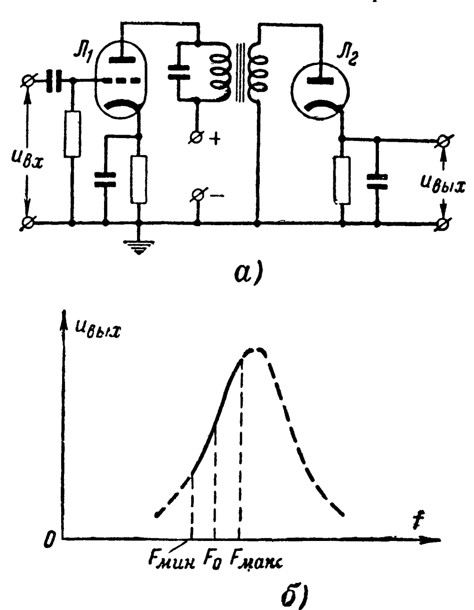


Рис. 46. Частотный детектор с расстроенным резонансным контуром.

связи (лампа $Л_1$) и два анодных детектора (лампа $Л_2$). Усилители симметрично расстроены относительно средней частоты модулирующего напряжения так, что их результирующая частотная характеристика такая же, как и у обычного дискриминатора с контурами *LC* (рис. 47,*в*). За счет расстройки селективных усилителей частотно-модулированные колебания преобразуются в напряжение, модулированное по амплитуде. Два детектора, входящие в схему, осуществляют амплитудное детектирование сигналов, поступающих с селективных усилителей.

Выходной сигнал частотного дискриминатора является разностью напряжений, выделяемых на нагрузках каждого из анодных детекторов. Поэтому, если расстройка селективных фильтров выполнена правильно (расстроены симметрично), то при поступлении на вход дискриминатора сигнала, не модулированного по частоте, напряжение на его выходе будет равно нулю. При отклонении

частоты входного сигнала в одну и другую сторону от средней частоты (от заданного значения) разность амплитуд сигналов, поступающих с нагрузок селективных фильтров на входы анодных детекторов, не будет равна нулю и на выходе дискриминатора появится напряжение изменяющейся полярности.

Выделение модулирующего сигнала при АИМ может быть произведено с помощью низкочастотного фильтра. Однако напряжение

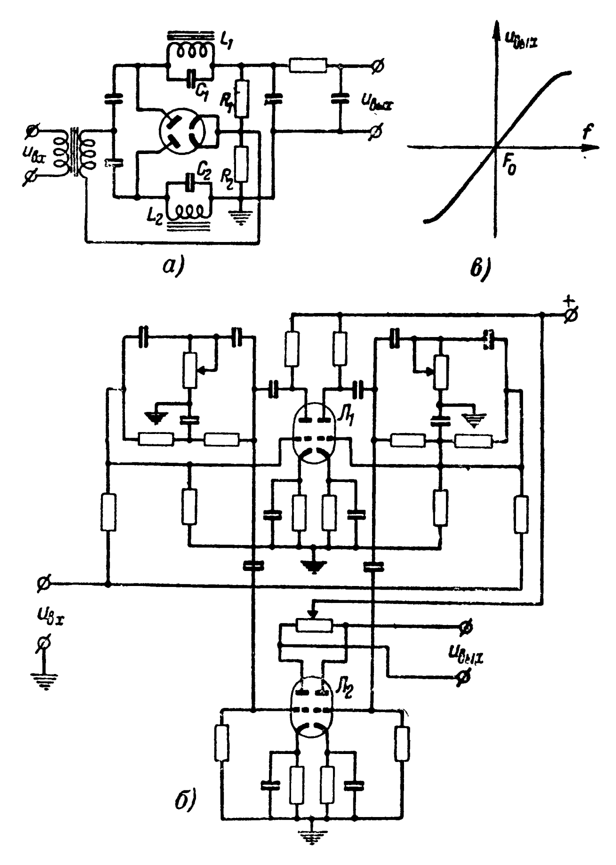


Рис. 47. Схемы частотных дискриминаторов.

на выходе фильтра при значительной скважности импульсов имеет малую амплитуду. Поэтому обычно перед фильтром устанавливается преобразователь, с помощью которого величина напряжения выделяемого сигнала повышается. Одним из простейших преобразователей является пиковый детектор (рис. 48,*а*).

При поступлении на вход пикового детектора амплитудно-модулированных импульсов происходит заряд конденсатора *С* через ди-

од *Д*, имеющий внутреннее сопротивление R_i. В промежутках между импульсами конденсатор *С* разряжается. Если постоянную времени заряда R_iC сделать в 3—5 раз меньше длительности импульса τ, а постоянную времени разряда RC выбрать так, чтобы скорость разряда была больше скорости спадания огибающей рис. 48,*б*, то форма огибающей напряжения на выходе пикового детектора будет мало отличаться от формы демодулируемого сигнала.

На выходе низкочастотного фильтра, подключаемого к выходу пикового детектора, можно выделить переданное сообщение, имеющее значительно бо́льшую амплитуду, чем без преобразования.

В качестве преобразователей могут использоваться также накопительные схемы и другие устройства.

Непосредственное выделение модулирующего сигнала с помощью низкочастотного фильтра при ФИМ, так же как и при АИМ, воз-

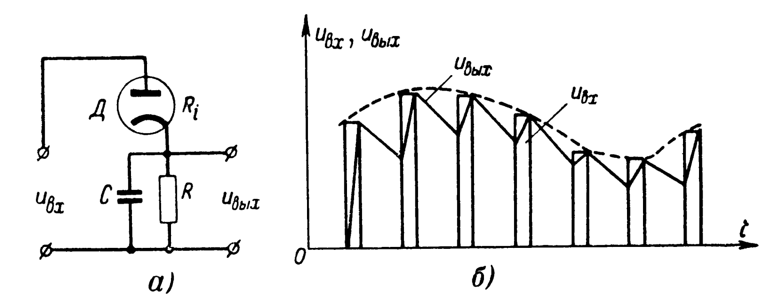


Рис. 48 Демодуляция АИМ.

можно, но нецелесообразно даже при большом коэффициенте модуляции, так как получающийся сигнал будет очень слабым и значительно искаженным. Поэтому предварительно ФИМ, как правило, преобразовывается в ШИМ или АИМ. В качестве устройств, преобразующих ФИМ и ШИМ, используются триггеры с двумя устойчивыми положениями равновесия.

Известен метод демодуляции ФИМ, основанный на применении фазового детектора рис. 49. Сущность этого метода сводится к следующему: гармоники частоты повторения импульсов, модулированных по фазе, оказываются также промодулированными по фазе передаваемым сигналом. Таким образом, если выделить одинаковые гармоники частоты следования опорных и рабочих импульсов и подать их на фазовый детектор, то с его выхода может быть снят модулирующий сигнал. Для выделения гармоники частоты следования импульсов применяются обычные резонансные фильтры.

Так как амплитуда выделяемой гармоники частоты следования импульсов при большой скважности мала, то в состав демодулятора необходимо включать усилитель гармонических колебаний. Для этого могут успешно использоваться рассмотренные выше резонансные усилители с повышенной селективностью.

Демодуляция сигналов при ШИМ обычно осуществляется путем предварительного преобразования ШИМ в АИМ с последующим применением пиковых детекторов и низкочастотных фильтров.

Для выделения модулирующего сигнала при КИМ принятые кодовые группы преобразуются предварительно в импульсы, амплитуда которых пропорциональна значению передаваемого кодовой группой уровня сигнала. Далее последовательность импульсов, модулированных по амплитуде, подается на выделяющий фильтр нижних частот.

Простейшее устройство, с помощью которого бинарные кодовые группы преобразуются в импульсы, модулированные по амплитуде, представлено на рис. 50,*а*. При действии импульса кодовой группы конденсатор *C* заряжается до напряжения *u*. Во время пауз разряд его происходит через сопротивление *R*. Постоянная времени *RC* выбирается такой, чтобы разрядка конденсатора *C* в течение паузы между соседними позициями в кодовой комбинации, отображающей максимальное число, конденсатор разряжался до *u*/2. При этих условиях за время действия кодовой группы на конденсаторе *C*

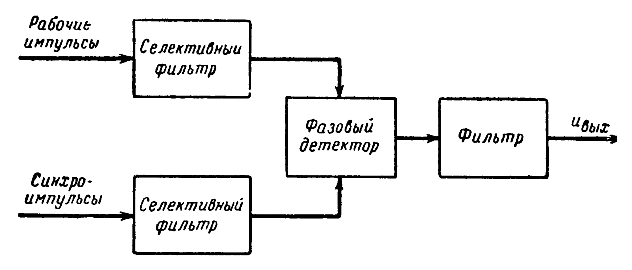


Рис. 49. Схема демодулятора сигналов при ШИМ.

в процессе его заряда и разряда образуется напряжение, пропорциональное величине уровня сигнала, характеризуемого кодовой группой (цена кодовой группы).

Поясним сказанное несколькими примерами. Пусть бинарный код имеет всего четыре временных позиции. Пусть также передается сигнал, величина которого соответствует восьмому уровню. В этом случае в кодовой группе будет всего один импульс (рис. 50,*б*), занимающий последнюю справа временную позицию (разряд восьмерок). За время действия этого импульса конденсатор *C* зарядится до напряжения *u*. Через время Δt, равное интервалу между соседними позициями кодовой группы, в момент снятия напряжения с конденсатора *C* посредством кратковременного замыкания ключа *K* (рис. 50,*а*) на выходе схемы вырабатывается импульс напряжения, величиной $^1/_2u$ или $^8/_{16}u$.

При передаче первого уровня сигнала в кодовой группе будет один импульс (рис. 50,*в*), занимающий первую временную позицию (разряд единиц). Под действием этого импульса конденсатор *C* зарядится до величины *u*. Ко времени замыкания ключа *K* конденсатор разрядится до напряжения $^1/_{16}u$, и снимаемый с выхода схемы импульс будет иметь амплитуду $^1/_{16}u$.

Для случая передачи максимального значения команды, когда в передаваемой кодовой группе будут импульсы на всех позициях (рис. 50,*г*), амплитуда импульсов на выходе схемы преобразования составит $^{15}/_{16}u$.

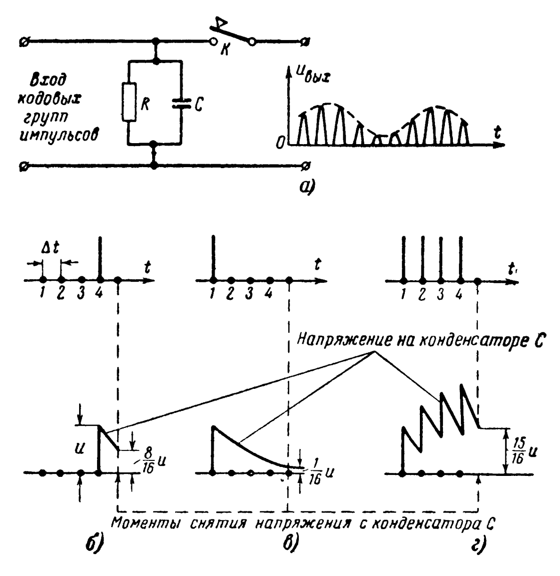


Рис. 50. Демодуляция КИМ.

В качестве ключа в приведенной схеме может использоваться электронная лампа, отпираемая специальным импульсом. Амплитудно-модулированные импульсы с выхода схемы подаются на выделяющий фильтр нижних частот.

23. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Исполнительные устройства предназначаются для преобразования сигналов принятых команд и непосредственного воздействия на органы управления телеуправляемого объекта. Конструкция исполнительного устройства определяется регулируемым параметром и характеристиками телеуправляемого объекта.

Выполняемые исполнительными устройствами функции могут быть самыми разнообразными, например: открытие и закрытие вентилей и других подобных устройств у паровых двигателей и двигателей внутреннего сгорания при регулировании подачи энергии; приведение в действие выключателей или электрических регулирующих элементов у дизель-электрических двигателей и у электродвигателей, при регулировании подачи электрической энергии и при электрическом торможении, для управления положением тел в космическом пространстве и т. п.; перестановка механических элементов конструкции при управлении с помощью рулей, отклонении привода (винта, реактивных сопел), смещении центра тяжести путем передвижения твердых масс и во многих других случаях. Выполнение этих операций на телеуправляемых объектах происходит за счет преобразования в исполнительном устройстве сигналов принятых команд в соответствующие механические перемещения с помощью

электродвигателей, электромагнитов или электрических пиропатронов.

Применение в исполнительных устройствах электродвигателей и электромагнитов позволяет осуществлять непрерывное регулирование телеуправляемого объекта, в то время как с помощью пиропатронов могут выполняться только разовые команды типа «включить», «выключить». На рис. 51 приведены схемы исполнительных устройств с электродвигателями для командных радиолиний с раз-

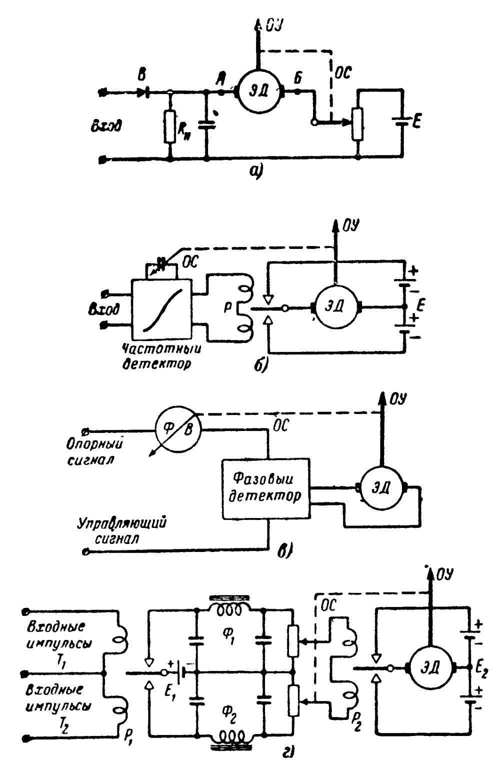


Рис. 51. Схемы электромоторных исполнительных устройств.

личными методами формирования количественных значений передаваемых команд.

При амплитудном методе передачи величины команды (рис. 51,*а*) напряжение сигнала поднесущей частоты рассматриваемого канала с выхода приемника подается на выпрямитель *В*. С нагрузки этого выпрямителя управляющее напряжение подводится к одному из зажимов электродвигателя постоянного тока *ЭД*, а другой его зажим подключается через потенциометр обратной связи

ОС к источнику напряжения постоянного тока *Е*. Скорость и направление вращения ротора электродвигателя определяются разностью потенциалов между точками *А* и *Б*. Электродвигатель, вращаясь, перемещает одновременно орган управления *ОУ* и движок потенциометра обратной связи *ОС* до тех пор, пока напряжение между точками *А* и *Б* не станет равным нулю, т. е. пока не будет выполнена переданная по радиолинии команда.

Для увеличения мощности, подводимой к управляемому объекту, в исполнительном устройстве ставится более мощный электродвигатель, питаемый от релейного, магнитного или электромашинного усилителей. Входным напряжением этих усилителей служит напряжение между точками *А* и *Б*.

В схеме исполнительного устройства радиолинии с частотной модуляцией поднесущего колебания передаваемым сигналом (рис 51,б), приведенной в качестве примера, управление электродвигателем осуществляется с помощью поляризованного реле *Р*. Срабатывание реле приводит к замыканию верхнего или нижнего (по схеме) контактов в зависимости от того, выше или ниже частота сигнала поднесущего колебания частоты настройки дискриминатора. Поляризованное реле в этом случае вместе с источником электрической энергии является релейным усилителем. Электродвигатель *ЭД*, вращаясь, перемещает орган управления *ОУ* и одновременно перестраивает дискриминатор до тех пор, пока он не окажется настроенным на частоту поднесущего колебания, изменяемую в зависимости от величины передаваемого по каналу сигнала. Перестройка дискриминатора может осуществляться за счет изменения емкости или индуктивности контуров дискриминатора.

В схеме исполнительного устройства радиолинии с фазовой модуляцией поднесущих колебаний (рис. 51,*в*) отработка величины принятой команды осуществляется также за счет введения отрицательной обратной связи. При изменении фазы управляющего сигнала на выходе фазового детектора появляется напряжение, полярность и величина которого соответствуют знаку и величине переданной команды. Электродвигатель *ЭД* под действием этого напряжения начнет вращаться в соответствующую сторону, перемещая орган управления *ОУ* и поворачивая ротор фазовращателя *ФВ* цепи обратной связи до тех пор, пока соотношение фаз управляющего и опорного напряжений на входе фазового детектора не будет соответствовать исходному (нулевому) состоянию, при котором выходное напряжение равно нулю.

Исполнительное устройство командной радиолинии с формированием передаваемых команд по методу временных соотношений (рис. 51,*г*) работает следующим образом. Сигнал управления в виде импульсов постоянного напряжения длительностью T_1 и T_2 поступает на обмотки двухпозиционного реле P_1. Подвижный контакт последнего подключает на эти отрезки времени к источнику питания E_1 соответственно фильтры $Ф_1$ и $Ф_2$ так, что на их общем выходе образуется напряжение, средняя составляющая которого характеризует величину передаваемой команды. Этим напряжением питается поляризованное реле P_2, подключающее электродвигатель *ЭД* к источнику питания E_2. Вращаясь, электродвигатель приводит в движение орган управления и смещает движок потенциометра обратной связи до тех пор, пока напряжение на входе поляризованного реле P_2 не станет равным нулю.

В приведенных схемах исполнительных устройств могут использоваться электродвигатели как постоянного, так и переменного тока. В качестве электромагнитных исполнительных устройств применяются соленоидные электромагниты и электромагниты с поворотным якорем. При пропускании тока управляющего сигнала через обмотку соленоидного электромагнита сердечник из мягкой стали втягивается внутрь катушки. С ним вместе перемещается тяга, связанная с управляющим объектом. Соленоидные электромагниты отличаются тем, что при значительном ходе сердечника (тяги) могут создавать большие тяговые усилия.

Электромагниты с поворотным якорем работают как обычные электромагнитные реле. Удлиненный якорь таких реле или ось якоря связываются с телеуправляемым объектом. Эти электромагниты развивают небольшие тяговые усилия. Соленоидные электромагниты и электромагниты с поворотным якорем позволяют выполнять только разовые или повторяющиеся команды типа «да — нет».

В качестве исполнительных устройств находят применение также магнитоэлектрические преобразователи. Они работают по такому же принципу, как и магнитоэлектрические измерительные приборы (амперметры и вольтметры). Широко используются электромагнитные и магнитоэлектрические системы, как управляющие элементы гидравлических и пневматических двигателей.

24. РЕГИСТРАЦИЯ ТЕЛЕМЕТРИРУЕМЫХ ВЕЛИЧИН

В многочисленных конструкциях радиотелеметрических устройств применяется значительное количество способов регистрации телеметрируемых величин. Регистрация осуществляется с помощью разнообразных приборов.

В радиотелеметрии используются стрелочные приборы магнитоэлектрической системы, гальванометры, снабженные пером для записи (самописцы), бифилярные гальванометры, обеспечивающие запись сигналов на фотобумагу, шлейфовые осциллографы, электронно-лучевые осциллографы, устройства магнитной записи и др.

Запись электрических сигналов обычно производится следующими способами: фотографированием изображений с экранов электронно-лучевых трубок и шкал электроизмерительных приборов, фотографированием с помощью многошлейфовых осциллографов и регистрацией с помощью специальных записывающих гальванометров или устройств магнитной записи с использованием различных магнитных носителей (магнитная лента, стальная проволока, магнитные барабаны и т. п.). Регистрация принятых сигналов должна позволять быстро обрабатывать записанные данные. Наибольшее распространение в радиотелеметрии получили многошлейфовые и электронные осциллографы, а также устройства магнитной записи (магнитописцы).

Если телеметрическая радиолиния является линией контроля системы телеуправления некоторым объектом, то поступающая по ней информация о состоянии этого объекта должна быть полностью индицирована с помощью соответствующих приборов.

Глава пятая

РАДИОТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

25. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КУСТОВЫМИ НАСОСНЫМИ СТАНЦИЯМИ В НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В нефтяной промышленности Советского Союза в целях повышения производительности труда, снижения потерь нефти и освобождения людей от трудоемких операций все более широко внедряется телемеханизация управления и контроля различных производственных объектов.

Так, например, в настоящее время осуществляется радиотелемеханизация управления и контроля насосных станций, нагнетающих воду в места залегания нефти с целью вытеснения последней на поверхность земли. Группа таких нагнетающих станций (насосов), расположенных близко друг к другу, объединяется в общую систему, называемую кустовой насосной станцией законтурного заводнения.

Дистанционное управление кустовыми насосными станциями и контроль за их работой осуществляются с помощью радиотелемеханической аппаратуры СРП-3. Радиотелемеханическая система СРП-3 включает в себя аппаратуру диспетчерского пункта и аппаратуру исполнительных пунктов, устанавливаемую на кустовых насосных станциях. Исполнительный и диспетчерский пункты связаны между собой отдельным каналом двусторонней радиосвязи. В соответствии с этим на диспетчерском пункте число приемно-передающих устройств соответствует количеству телемеханизированных кустов насосных станций исполнительного пункта (максимально их может быть десять). С диспетчерского пункта на каждый исполнительный пункт может быть послано 24 команды управления и получено обратно 39 сигналов, которые характеризуют контролируемые параметры насосной станции и подтверждают выполнение посланных с диспетчерского пункта команд.

В табл. 1 приведены сигналы команд, посылаемых с диспетчерского пункта, и телеметрические сигналы, принимаемые с исполнительного пункта одной кустовой насосной станции. Все перечисленные в таблице команды и сигналы, за исключением сигналов, характеризующих давление в нагнетающих магистралях, являются разовыми типа «включить» — «выключить». В системе СРП-3 они формируются по кодово-частотному принципу, в соответствии с которым каждая посылка состоит из двух поднесущих (синусоидальных) колебаний разных частот. Сигналы давления передаются с исполнительного пункта на диспетчерский пункт как непрерывные путем модуляции поднесущего колебания по частоте.

На рис. 52 приведены функциональная схема аппаратуры телемеханизации управления и контроля работы агрегатов одной кустовой насосной станции. В тракт приема-передачи команд с диспетчерского пункта на кустовую насосную станцию исполнительного пункта входят блок выбора, шифратор, блок управления, блок генераторов, передатчик, приемник, широкополосный усилитель, блок фильтров, дешифратор и исполнительные устройства (на схеме показано одно исполнительное устройство и один управляемый объект).

Система приема — передачи с кустовой насосной станции на диспетчерский пункт включает в себя датчики, устанавливаемые на

Таблица 1

Сигналы, команды и телеметрические сигналы, используемые в системе СРП-3

Объект управления (или датчик)	Максимальное количество объектов (или датчиков в кусте)	Характер команды или сигнала	Количество команд или сигналов	
			с диспетчерского пункта на куст	с куста на диспетчерский пункт
Электродвигатель насоса	5	Включение, отключение, запрос о состоянии	5 5 5	5 5 —
Регулируемая задвижка	1	Открытие, остановка, закрытие	1 1 1	1 1 1
Датчик температуры статора электродвигателя	5	Сигнал об аварии	—	5
Датчик расхода жидкости	10	Сигнал измерения	—	10
Датчик давления	5	Выбор датчика	5	5
Датчик затопления помещения насосной станции	1	Сигнал об аварии	—	1
Датчик положения уровня воды в резервуаре	3	Сигнал положения	—	4
Радиотелефон	1	Команды и сигналы вызова	1	1

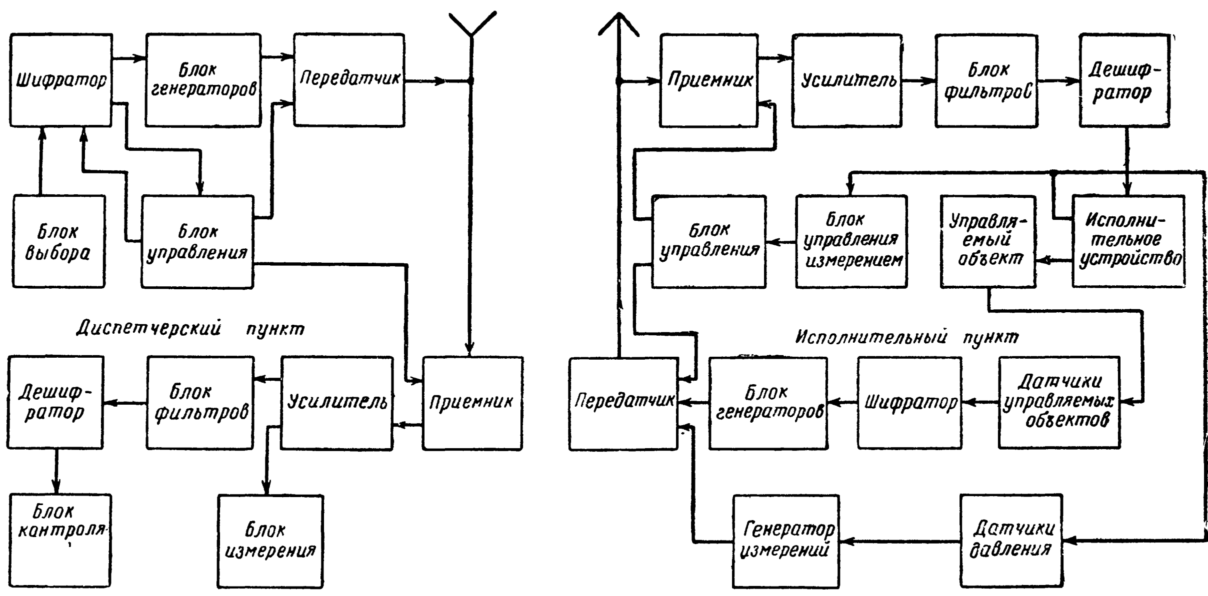


Рис. 52. Функциональная схема СРП-3.

управляемых объектах, шифратор, блок управления, передатчик, приемник, широкополосный усилитель, блок фильтров, дешифратор, индикаторный блок (блок контроля), блок измерения и генератор измерений.

Перед посылкой команды с диспетчерского пункта на исполнительный пункт путем нажатия кнопки на блоке выбора производится подключение соответствующего передатчика для связи с выбранным исполнительным пунктом. Выбор последнего необходим, поскольку используются общие для всех исполнительных пунктов органы управления (ключи и кнопки управления, шифратор и т. д.). Применение одних и тех же органов управления позволяет значительно уменьшить число элементов схемы.

После того как произведен выбор исполнительного пункта, на его управляемый объект может быть послана нужная команда. Для

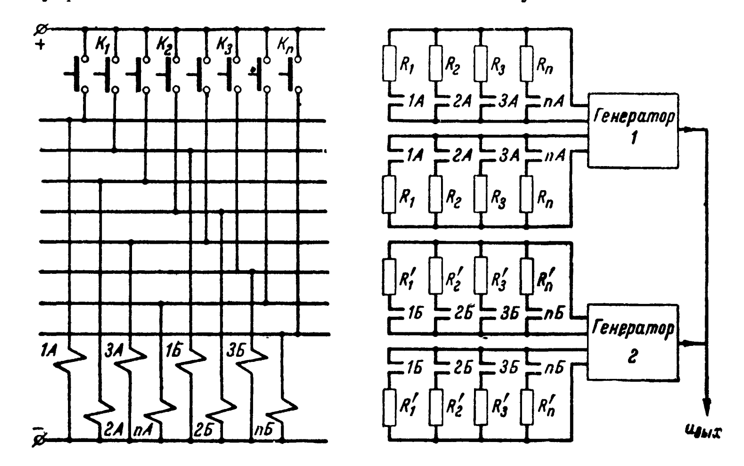


Рис. 53. Упрощенная схема шифратора диспетчерского пункта.

этого в блоке шифратора, схема которого представлена на рис. 53, с помощью соответствующего ключа (K_1, K_2, K_3, . . ., K_n), расположенного на панели управления, включаются два реле (одно из группы *А*, другое из группы *Б*). Контакты этих реле перестраивают генераторы звуковых частот *1* и *2* путем подсоединения к ним необходимых сопротивлений. Получающиеся сигналы двух частот образуют код, соответствующий передаваемой команде. В системе применены *RC*-генераторы синусоидальных колебаний.

Напряжение $u_{вых}$ с выхода шифратора поступает в передатчик, где осуществляется модуляция генерируемых колебаний по частоте. В момент нажатия ключа на блоке шифратора для посылки нужной команды одновременно включаются передатчик и блок управления. Спустя 100 *мсек* сигнал блока управления независимо от состояния ключей K_1, K_2, K_3, ..., K_n выключит передатчик и подсоединит выход приемника к широкополосному усилителю. Благодаря этому усилитель остается присоединенным к приемнику до начала передачи следующей команды для приема ответных сигналов исполнительного пункта.

С выхода широкополосного усилителя сигналы поступают в блок фильтров (рис. 54), где происходит разделение кодовых частотных комбинаций на два сигнала разных частот. Под действием входных сигналов срабатывают два реле из группы P_1, P_2, $P_3 \ldots$, P_n. С помощью этих реле в дешифраторе (рис. 55) включаются соответствующие переданному с исполнительного пункта сообщению исполнительные устройства (реле $P_{и1}$, $P_{и2}$, $P_{и3}$), замыкающие нужную цепь сигнализации или регистрирующего прибора (рис. 56).

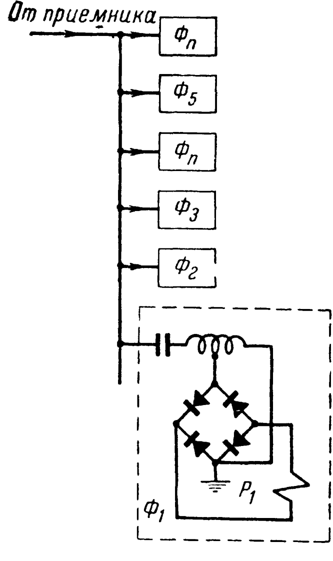


Рис. 54. Упрощенная схема блока фильтров.

Телемеханическая аппаратура кустовой насосной станции обеспечивает прием сигналов управления, посланных с диспетчерского пункта, и передачу на этот же пункт сигналов об аварийном отключении электродвигателя насосного агрегата, о положении уровня воды в резервуаре, расходе воды на каждой скважине, перегреве обмоток статора электродвигателя, угрозе затопления насосной станции и давлении в напорном и всасывающих коллекторах. Помимо того, передаются команды вызова диспетчера для радиотелефонного разговора.

Принятые на исполнительном пункте сигналы управления и запросы, пройдя тракт приема, поступают в блок фильтров и далее в дешифратор (рис. 52). Последние

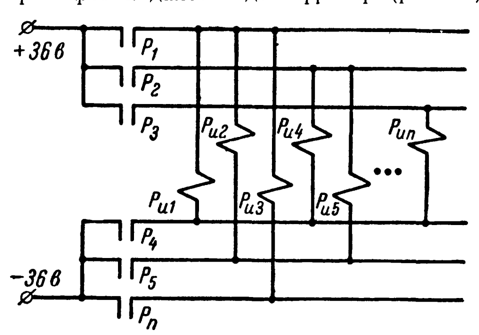


Рис. 55. Упрощенная схема дешифратора диспетчерского пункта.

работают так же, как и аналогичные блоки в приемном устройстве диспетчерского пункта.

В дешифраторе под действием сигнала управления возбуждаются два реле, с помощью которых включается соответствующее

исполнительное устройство, воздействующее на объект. Сигналы запроса о состоянии и положении агрегатов, поступающие с диспетчерского пункта, проходят тот же путь, что и сигналы команд управления. При поступлении сигналов запроса на исполнительный пункт срабатывают соответствующие исполнительные реле, которые своими контактами включают цепь ответной сигнализации.

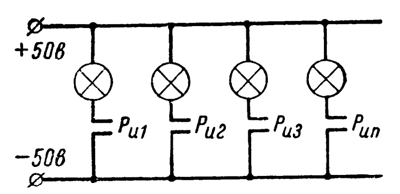


Рис. 56. Упрощенная схема блока сигнализации диспетчерского пункта.

Цепи шифратора (рис. 52) для передачи сигналов с исполнительного пункта на диспетчерский пункт образуются из последовательно включенных датчиков (концевых включателей управляемых объектов KB_1, KB_2, KB_3, ..., KB_n, контактов исполнительных устройств $K_{и1}$, $K_{и2}$, $K_{и3}$ ..., $K_{иn}$ и обмоток реле групп *А* и *Б* (рис. 57). Реле групп *А* и *Б* включают генераторы шифратора на соответствующие частоты кода (реле группы *А* — один генератор, а реле группы *Б* — другой). Контакты $K_{и1}$, $K_{и2}$, $K_{и3}$ замыкаются исполнительными реле по получении с диспетчерского пункта запросных сигналов.

Суммарный сигнал двух генераторов, представляющий собой частотный код, поступает в передатчик исполнительного устройства (рис. 52) и модулирует высокочастотные колебания передатчика по частоте. Для передачи на диспетчерский пункт измеренных значений давления в нагнетающих магистралях насосной станции используется метод частотной модуляции поднесущего колебания.

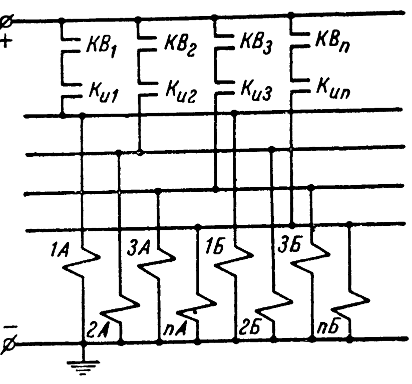


Рис. 57. Упрощенная схема блока шифратора исполнительного пункта.

С диспетчерского пункта путем посылки специальной команды осуществляются выбор датчика давления, включенного в нужную магистраль, и подключение его к специальному (измерительному) генератору синусоидальных колебаний. Датчик давления представляет собой потенциометр, подвижный контакт которого связан с упругой мембраной, воспринимающей давление жидкости. Под действием этого давления мембрана прогибается, вызывая соответствующее смещение подвижного контакта потенциометра. Параметры датчика и измерительного генератора выбираются так, чтобы частота генерируемых колебаний была пропорциональна измеряемому давлению.

Выходным напряжением измерительного генератора осуществляется частотная модуляция колебаний передатчика исполнительного пункта (рис. 52). На диспетчерском пункте данные о давлении регистрируются блоком измерения.

Как показывает опыт эксплуатации, радиотелемеханическая аппаратура системы СРП-3 позволяет значительно сократить число рабочих, обслуживающих кустовые насосные станции, и улучшить условия их труда.

26. РАДИОТЕЛЕМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ РАКЕТ

Для получения данных о работе узлов и механизмов ракет, о работе систем управления, а также о проведении конструкции ракеты в целом при испытательных полетах широко применяются радиотелеметрические системы. Результаты радиотелеизмерений, полученные во время полета ракеты, после их обработки используются для улучшения конструкции ракеты, ее аэродинамики и усовершенствования системы управления.

На различных этапах разработки ракеты и в ходе ее испытаний требуются измерения большого количества величин. Основными из них являются: воздушная скорость и высота полета; аэродинамические коэффициенты при различных режимах полета; температурные условия; влажность и давление окружающей среды; вибрации и напряжения; величины, характеризующие работу системы управления, включая датчики ускорений, автопилот, исполнительные устройства; положение управляющих поверхностей; расход топлива; тяга двигателя; характеристики верхних слоев атмосферы (измерение интенсивности космического излучения и т. п.).

Многие из перечисленных величин взаимосвязаны. Некоторые параметры в процессе полета ракеты изменяются медленно, другие значительно быстрее, а некоторые весьма быстро. Эти обстоятельства должны учитываться при выборе и разработке телеметрической системы, предназначаемой для испытания ракет или для получения данных с ракет при космических испытательных полетах.

На рис. 58 приведена функциональная схема аппаратуры, устанавливаемой на ракете, одной из радиотелеметрических систем с частотным разделением каналов. Бортовая аппаратура включает в себя блок генераторов поднесущих колебаний, коммутатор, датчики, входной блок, усилитель, передатчик, антенну и блок питания.

Блок генераторов поднесущих колебаний объединяет в себе шесть управляемых по частоте генераторов. С изменением управляющих напряжений, подводимых ко входам этих генераторов, частоты генерируемых колебаний изменяются в пределах $\pm 7{,}5\%$ от средней частоты. Четыре генератора управляются напряжениями, снимаемыми непосредственно с выходов датчиков телеметрируемых величин.

Датчики сравнительно медленно изменяющихся величин подключаются с помощью механического коммутатора ко входу остальных двух генераторов, генерирующих частоты 7 350 и 14 500 *гц*. В этом случае осуществляется передача дискретных значений телеметрируемых величин также путем частотной модуляции поднесущих колебаний. Дискретность передачи определяется скоростью вращения ротора коммутатора. В описываемой системе скорость «опроса» датчиков составляет пять раз в секунду.

Упрощенная принципиальная схема управляемого генератора приведена на рис. 59. Она состоит из усилителя постоянного тока на лампе $Л_1$, мультивибратора на лампах $Л_2$, $Л_3$, фильтра $Ф$ и вы-

ходного катодного повторителя на лампе $Л_4$. Самовозбуждающимся каскадом генератора является мультивибратор. Выходное напряжение усилителя постоянного тока изменяет уровень постоянного сме-

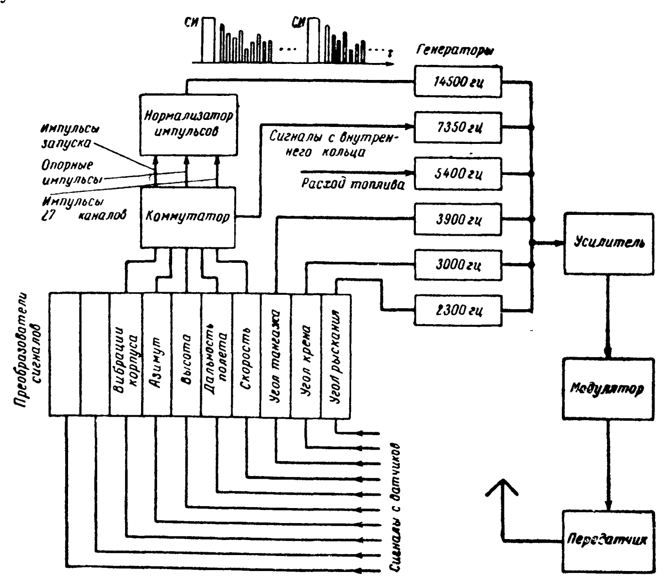


Рис. 58. Функциональная схема телеметрической аппаратуры, устанавливаемой на ракете.

щения на сетках ламп мультивибратора. Это приводит к тому, что частота генерируемых им колебаний изменяется пропорционально подводимому напряжению. Низкочастотный фильтр выделяет пер-

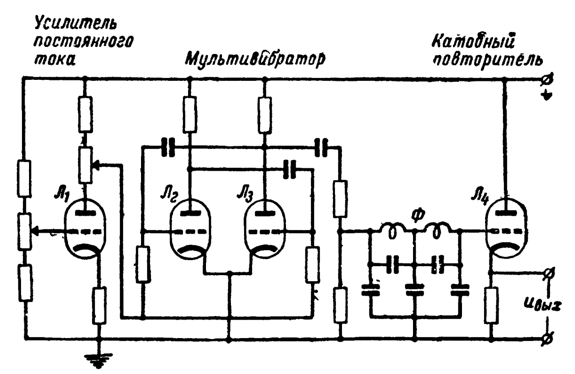


Рис. 59. Упрощенная принципиальная схема управляемого генератора.

вую гармонику частоты следования выходных импульсов мультивибратора. Катодный повторитель обеспечивает низкоомный выход генератора. Выходные сигналы всех шести генераторов после суммирования и усиления подаются в передатчик.

Коммутатор представляет собой круг из изолирующего материала, на котором укреплены шесть концентрических колец, изготовленных из серебра. Из них три кольца сплошные, а три других разрезные. Разрезные кольца образуют собой внешнюю, среднюю и внутреннюю группы неподвижных контактов. Диск с контактами укрепляется на корпусе, а ротор — на валу электродвигателя. Ротор имеет самосмазывающиеся серебряно-графитовые контакты, соединяющие элементы разрезных колец (контакты) с неразрезными, являющимися отводными коллекторными кольцами коммутатора. К внешней контактной группе коммутатора подводятся выходные напряжения от 27 датчиков телеметрируемых величин, а к внутренней контактной группе — от 9 датчиков.

В процессе работы на выходе коммутатора при пробегании подвижного контакта по неподвижным появляются импульсы напряжения, амплитуда которых характеризует дискретные значения телеметрируемых величин. Для разделения этих импульсов по соответствующим каналам на приемной стороне в их число замешиваются синхронизирующие импульсы значительно большей длительности. Они снимаются со средней контактной группы.

Фронты выходных импульсов коммутатора, несущих информацию о передаваемых значениях телеметрируемых величин, искажаются при набегании и сбегании подвижного контакта с неподвижных. Только средняя часть каждого из полученных импульсов достаточно точно характеризует передаваемую информацию. В связи с этим в составе бортовой аппаратуры предусмотрен выходной блок, который нормализует измерительные импульсы по длительности, пропуская только их средние части. Этот же блок обеспечивает постоянство длительности измерительных импульсов при изменении скорости вращения ротора коммутатора за счет нестабильности питающего электродвигатель напряжения.

В передатчике осуществляется частотная модуляция высокочастотных колебаний суммарным выходным напряжением всех генераторов поднесущих колебаний. В качестве управляющего элемента модулятора используется реактивная лампа. При работе системы на малую и большую дальность предусмотрено использование соответственно одного и двух усилителей высокочастотных колебаний, обеспечивающих выходную мощность 3 и 35 *вт*. Средняя частота передатчика может перестраиваться в пределах 215—230 *Мгц*.

Антенна представляет собой четвертьволновый вибратор, устанавливаемый в нижней части ракеты так, чтобы ее корпус не загораживал наземную приемную станцию.

Описанное телеметрическое оборудование рассчитано на работу в условиях наличия ускорений в направлении любой оси до величины $10g$ при изменении температуры окружающей среды от —50 до +75° С и с относительной влажностью до 95%.

На рис. 60 показана функциональная схема наземной станции для приема и регистрации телеметрируемых величин. Сигналы передающей установки телеметрической системы принимаются антенной наземного устройства и направляются в приемник, где происходят их усиление и демодуляция. Выходные сигналы приемника через

смеситель поступают на записывающее устройство для предварительной регистрации и на входы дискриминаторов. Каждый из дискриминаторов настроен на определенную поднесущую частоту. От генератора импульсов в регистрирующую аппаратуру подаются также сигналы времени.

Дискриминаторы разделяют принятые сигналы и преобразуют изменение частоты поднесущих колебаний в изменение величины регистрируемого тока. Телеметрируемые величины, зарегистрированные в соответствующем устройстве (обычно в устройстве магнитной записи), могут быть в любое время снова воспроизведены

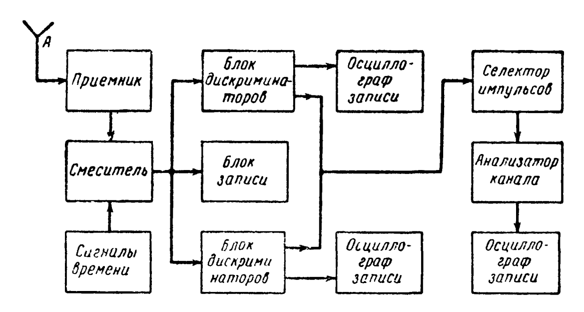


Рис. 60. Функциональная схема наземной приемной телеметрической установки.

в виде электрических величин для наблюдения и производства осциллографических записей. Выходные напряжения дискриминаторов могут содержать информацию как о непрерывных, так и коммутируемых величинах. Разделение коммутируемых сигналов производится с помощью электронного распределительного устройства, запускаемого синхронизирующими импульсами, выделенными в селекторе импульсов.

Калибровка приемной телеметрической аппаратуры выполняется путем отключения принимаемого с передающей стороны сигнала и замены его местным сигналом калибрационной аппаратуры, состоящим из нескольких известных частот.

27. КОМАНДНАЯ РАДИОЛИНИЯ УПРАВЛЕНИЯ МОДЕЛЯМИ

Радиотелеуправление различными авиационными моделями осуществляется с помощью командной радиолинии управления, включающей в себя передающее и приемное устройства, размещаемые соответственно на пункте управления и на управляемой модели. Контроль за выполнением моделью передаваемых с пункта управления команд осуществляется визуально (визуальная система контроля). Аппаратура системы управления моделью, в особенности ее приемная установка, должна быть малогабаритной и потреблять возможно меньшее количество электрической энергии. Это объясняется небольшими размерами, которые обычно имеют управляемые модели.

В командных радиолиниях управления моделями используются различные методы разделения каналов (команд). На телеуправляе-

мые модели с целью упрощения системы подаются обычно многократные отдельные команды типа «включить», «выключить» и почти не используются непрерывные команды. В связи с этим при построении командных радиолиний для управления моделями используются преимущественно частотный и частотно-кодовый методы разделения сигналов. В наиболее простых системах управления для формирования команд на пункте управления и разделения их на телеуправляемой модели применяются шаговые распределители.

В одной из практически реализованных систем управления сигналы команд, посылаемые передатчиком, представляют собой

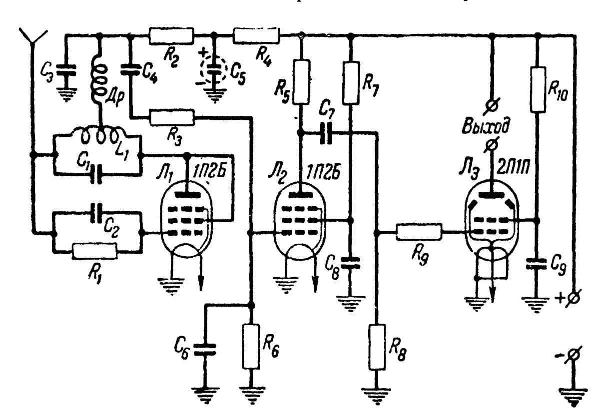


Рис. 61. Принципиальная схема приемника радиотелеуправляемой модели.

кратковременные импульсы радиочастотных колебаний, промодулированных напряжениями поднесущих частот. На рис. 61 приведена принципиальная схема наиболее простого приемника радиотелеуправляемой модели.

Приемник рассчитан на работу в диапазоне волн 28—29 и 38—40 *м*. Первый каскад приемника представляет собой сверхрегенератор, собранный на лампе $Л_1$. Нагрузкой этого каскада по низкой частоте служит сопротивление R_2. Напряжение сигналов команд, снимаемое с этого сопротивления, подается в двухкаскадный усилитель низкой частоты. В первом низкочастотном каскаде работает лампа $Л_2$, а во втором, выходном каскаде — лампа $Л_3$. Нагрузкой выходного каскада приемника является резонансное реле (может быть несколько реле), с помощью которого осуществляется разделение сигналов передаваемых команд.

Резонансное реле имеет три якоря (может и более). Работа такого реле основана на том, что каждый якорь колеблется с достаточной амплитудой только в том случае, когда частота подводимых к обмотке реле электрических сигналов совпадает с собственной частотой механических колебаний якоря. Таким образом, количество частотно отличимых сигналов, которые могут быть выделены с помощью такого реле, соответствует числу якорей реле.

Для включения исполнительных цепей применяется обычно поляризованное реле, обладающее высокой чувствительностью и малым временем срабатывания. Схема совместного включения резонансного и поляризованных реле приведена на рис. 62.

Поляризованное реле ($РП_1$, $РП_2$, $РП_3$) имеет два неподвижных и один подвижный контакты. Оно регулируется так, чтобы при отсутствии тока в обмотке подвижный контакт был прижат к одному из неподвижных. При подаче в обмотку питающего напряжения реле срабатывает, благодаря чему замыкается цепь, подключенная к другому неподвижному контакту. При отключении напряжения подвижный контакт возвращается в исходное положение.

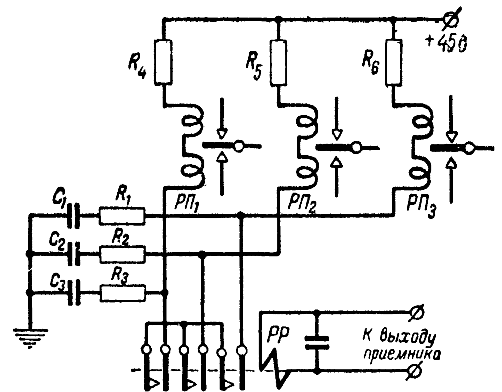


Рис. 62. Схема совместного включения резонансных и поляризованных реле.

Таким образом осуществляется коммутация цепей исполнительных механизмов.

Конденсаторы C_1, C_2 и C_3 имеют большие значения емкостей и являются накопителями электрической энергии, за счет которой поддерживается замкнутое состояние исполнительной цепи с помощью поляризованного реле при вибрации (периодическом размыкании) якоря резонансного реле $РР$. В момент кратковременного размыкания рабочих контактов этого реле при колебании его якоря через обмотку реле $РП_1$ ($РП_2$, $РП_3$) протекает большой зарядный ток конденсатора C_3(C_2, C_1), который удерживает якорь реле $РП_1$ в прижатом положении.

В качестве исполнительных устройств используются электромоторные или электромагнитные механизмы. Питание приемника осуществляется от легких малогабаритных источников тока (часто применяются батареи от слуховых аппаратов).

Выбор схемы и конструкции передающего устройства для рассмотренной системы радиотелеуправления определяется возможностями конструктора, дальностью управления, условиями управления моделью и целым рядом других факторов.

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 24 коп.